



UNIVERSIDADE NOVA DE LISBOA

FACULDADE DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL

ANÁLISE COMPORTAMENTAL DO FOGO EM SISTEMAS DE FACHADA COM ISOLAMENTO PELO EXTERIOR

Dissertação apresentada para a obtenção do grau académico de Mestre em Engenharia Civil
na especialidade de Construção pela Universidade Nova de Lisboa, Faculdade de Ciências e Tecnologia

JOSÉ AUGUSTO STOFFEL MAIA TITO MARTINS

Orientador Científico
Professor Doutor Vasco Moreira Rato

Lisboa, 2009

Agradecimentos

Manifesto o meu agradecimento

Ao Professor Doutor Vasco Moreira Rato, orientador científico da dissertação, pelo incentivo, interesse e motivação pelo tema e fundamentalmente pelo acompanhamento clarividente e permanente ao longo deste trabalho.

Aos amigos Luís Lourenço e João Cardoso pela colaboração na arte final do trabalho.

À minha família, pelo incentivo e paciência incansável ao longo de todo o curso.

À Ana pelo apoio e motivação extra que me transmitiu ao longo deste trabalho.

A todos os meus amigos, em especial ao meu grupo de amigos de Cascais, que têm sido como a minha segunda família.

Resumo

Os sistemas de fachada com isolamento térmico pelo exterior são soluções construtivas que surgiram no sentido de colmatar a crescente necessidade de optimização energética dos edifícios.

Tendo em conta que a actual regulamentação não contempla medidas para a generalidade destes sistemas e dos respectivos componentes, o objectivo desta dissertação foi analisar o comportamento ao fogo destes tipos de soluções de paredes exteriores.

Os dois tipos de sistema analisados neste trabalho são o sistema de reboco armado sobre isolamento térmico (ETICS) e o sistema de Fachada Ventilada, que são soluções construtivas de carácter não tradicional que, do ponto de vista da segurança contra incêndio em edifícios, podem criar situações problemáticas.

No sentido de assistir os projectistas no tratamento de questões relacionadas com o comportamento ao fogo deste tipo de fachadas e com base na observação dos resultados de estudos elaborados no estrangeiro, foi possível organizar e desenvolver um conjunto de princípios a aplicar em fase de projecto baseados na análise destes sistemas e na pesquisa de ensaios de larga escala.

Pretende-se assim com a criação destes princípios complementar a informação fornecida pelo Regulamento de segurança contra incêndio em edifícios, cujas exigências em vigor não contemplam todos os riscos associados a estes tipos de soluções de fachada. Esta informação complementar será uma mais-valia pois trata de pontos singulares para a generalidade dos casos e pode servir para que sejam criados estudos futuros quanto à viabilidade destes sistemas não convencionais.

Palavras-chave

Sistemas de fachada, isolamento térmico exterior, comportamento ao fogo, segurança contra incêndio.

ANALYSIS OF FIRE BEHAVIOR IN EXTERIOR INSULATION FAÇADE SYSTEMS

Abstract

The exterior insulation façade systems are constructive solutions that emerged to fill the growing need for improved energy efficiency in buildings.

Given that the current legislation does not contemplates measures for most of these systems and their components, the aim of this thesis was to investigate, under the context of fire behavior, these types of solutions of exterior walls

The two types of systems discussed here are the External Thermal Insulation Composite System (ETICS) and the Ventilated Façade System, which are non-traditional constructive solutions that, in terms of fire safety, can create problematic situations.

In order to assist designers in addressing issues related to the behavior to fire of this type of walls and from observation of the results of studies conducted abroad, it was possible to organize and develop a set of principles to be applied in the design stage based on analysis of these systems and research of large-scale trials

The establishment of these principles is intended to supplement the information provided by the Fire Safety Regulation which the requirements in force do not include all the risks associated with these types of facade solutions. This additional information will be an asset because it attends singular points for most cases and can serve to create future studies on the viability of these non-conventional systems

Key-words

Façade systems, external thermal insulation, fire behavior, fire safety.

Índice do texto

Agradecimentos.....	2
Resumo	3
Abstract	4
Índice de Quadros.....	8
Índice de Figuras.....	8
Introdução.....	9
Enquadramento e objectivos	9
Organização do texto.....	12
Parte I – Analise do fenómeno – O fogo em edifícios.....	13
1 O Fogo	14
1.1 O Fenómeno – O fogo	14
1.2 Tipos de combustão	15
1.3 Processos de combustão.....	16
1.3.1 Combustão dos sólidos	17
1.3.2 Combustão de Gases.....	17
1.3.3 Combustão de líquidos	18
1.4 Temperaturas características	18
1.4.1 Temperatura de Inflamação (ponto de fulgor)	19
1.4.2 Temperatura de Combustão	19
1.4.3 Temperatura de (auto) Ignição	19
1.5 Produtos da combustão	19

1.6 Propagação do calor.....	20
1.6.1 Condução	21
1.6.2 Convecção.....	21
1.6.3 Radiação.....	22
2 Desenvolvimento e propagação do incêndio num edifício	23
2.1 Condições de eclosão.....	23
2.2 Desenvolvimento de um incêndio	24
2.3 Propagação do fogo no interior do edifício.....	28
2.3.1 Propagação num espaço interior genérico	28
2.3.2 Propagação nas comunicações horizontais comuns	30
2.3.3 Propagação através de espaços de difícil acesso e casos particulares.....	31
2.3.4 Carga de incêndio de um compartimento	31
2.3.5 Controlo da propagação de um incêndio através de uma protecção passiva	32
2.4 Propagação do incêndio pelo exterior do edifício.....	34
2.4.1 Propagação do incêndio em coberturas	34
2.4.2 Propagação do incêndio a edifícios adjacentes	35
3 Classificação do comportamento ao fogo dos elementos e produtos de construção	36
3.1 Reacção ao fogo dos materiais de construção.....	36
3.2 Resistência ao fogo dos elementos da construção.....	40
3.3 Curva ISO padrão Temperatura-tempo	41
Parte II – Comportamento de sistemas de fachada ao fogo	43
4 Evolução da concepção de fachadas – Contextualização.....	44
4.1 Sistema ETICS	46
4.2 Sistema Fachada Ventilada	48

4.3 Caracterização genérica dos materiais de sistemas de fachada não convencionais	51
4.3.1 Materiais de revestimento exterior	51
4.3.2 Materiais de isolamento térmico	53
5 Propagação do incêndio pelas fachadas	55
5.1 Mecanismo de propagação do incêndio em fachadas.....	56
5.2 Histórico de incêndios que se desenvolveram pelo exterior de edifícios	63
6 Análise de casos de estudo	69
7 Regras de boa prática construtiva	78
7.1 Considerações para elaboração de sistemas de <i>ETICS</i> :	81
7.2 Considerações para sistemas de <i>Fachadas Ventiladas</i> :.....	85
Sugestões de trabalhos futuros e conclusões gerais	88
Sugestões de trabalhos futuros	88
Conclusões gerais	89
Bibliografia.....	93

Índice de Quadros

Quadro 7.1 - Reacção ao fogo de elementos de revestimento exterior criando caixa-de-ar...	79
Quadro 7.2 - Reacção ao fogo dos sistemas compósitos para isolamento térmico exterior com revestimento sobre isolante (ETICS) e o material isolante térmico.....	80

Índice de Figuras

Figura 1.1 - Tetraedro do fogo	15
Figura 1.2 - Diferentes processos de transmissão de calor	20
Figura 2.1 - Fases de desenvolvimento de um incêndio	24
Figura 3.1 - Curva ISO Vs 50 ensaios ao fogo.....	42
Figura 3.2 - Curva ISO Vs curva de incêndio real	42
Figura 4.1 - Evolução das fachadas em Portugal	44
Figura 4.2 - Sistema de ETICS	48
Figura 4.3 - Sistema de Fachada Ventilada.....	50
Figura 5.1 - Mecanismo de propagação de Incêndio em fachadas	58
Figura 5.2 - Fuga das chamas dum compartimento dum edifício de alvenaria numa fase pós-flashover	59
Figura 5.3 - Propagação do incêndio em cavidades	62
Figura 5.4 - Edifício de apartamentos, Liverpool.....	64
Figura 5.5 - Edifício de apartamentos, Munique.....	65
Figura 5.6 - Museu da Nova Zelândia, Wellington	66
Figura 5.7 - Edifício de Apartamentos, Escócia.....	67
Figura 6.1 - Formação de espaço de ar no núcleo de EPS com revestimento integral; Formação de espaço de ar no núcleo de EPS com abertura no revestimento	71
Figura 6.2 - Exemplo duma instalação típica para ensaios	73
Figura 6.3 - Ensaio a sistema ETICS com núcleo dum material termorigido sem fixações adequadas ou barreiras corta-fogo.	74
Figura 6.4 - Sistema ETICS sem barreiras corta-fogo.....	75
Figura 6.5 - Sistema ETICS com barreiras corta-fogo.	76
Figura 7.1 - Pormenor sistema ETICS	84
Figura 7.2 - Pormenor sistema Fachada Ventilada.....	86

Introdução

Enquadramento e objectivos

A Segurança Contra Incêndios em Edifícios é hoje uma área de extrema importância na vida das sociedades. Os incêndios que ocorrem em edifícios resultam em geral em perdas de vidas humanas e de bens materiais, tendo grandes consequências na economia dos Países que todos os anos têm prejuízos na ordem dos milhões de euros [8].

O conceito de segurança contra incêndios está ligado à identificação, avaliação, controlo e eliminação de riscos inerentes a um incêndio de modo a reduzir os seus efeitos e com o objectivo de salvaguardar a vida das pessoas e a protecção de bens no caso de um sinistro.

A existência de medidas preventivas, incluindo meios técnicos sofisticados, não elimina necessariamente e totalmente os riscos. Porém, o seu conhecimento poderá evitar situações mais ou menos trágicas, limitando os prejuízos humanos e materiais.

A necessidade de mudança aliada ao conhecimento científico e tecnológico que se foi reunindo ao longo dos tempos, possibilitou ao homem desenvolver métodos, técnicas e soluções construtivas que visam melhorar a qualidade de vida das pessoas.

Existem referências ao longo da história da Engenharia Civil de medidas adoptadas e destinadas a melhorar a qualidade das construções e salvaguardar a vida das pessoas e os bens materiais. Contudo é na Idade Contemporânea, com maior incidência na segunda metade do século XX, que se verifica uma maior consciência sobre os problemas relacionados com a qualidade dos materiais de construção e com os elementos estruturais num contexto de segurança, economia e ambiente. Foram criados serviços e organizações, nacionais e internacionais, que elaboraram directivas, regulamentos e normas técnicas com o intuito de garantir uma maior qualidade nas construções. Esta iniciativa veio garantir que os projectos de engenharia fossem executados com maior rigor, vendo assim aumentados os níveis de segurança e qualidade de execução e utilização, o que só trouxe benefícios para a vida dos ocupantes.

De entre os diversos ramos da engenharia relacionados com a edificação, a Segurança Contra Incêndios em Edifícios é a área em que o conhecimento científico está menos consolidado mas que está a sofrer uma profunda transformação, atendendo ao enorme impacto social e económico que a ocorrência e propagação daqueles provocam.

Sendo uma área de grande importância, cabe aos projectistas escolher as soluções mais seguras e também mais económicas para os edifícios. Os sistemas de protecção contra incêndio são projectados com base no atendimento das normas de segurança que estão em vigor no novo regulamento.

Contudo as construções actuais têm-se tornado cada vez menos convencionais com a intensiva aplicação de novas tecnologias e novos materiais, sendo necessário um maior entendimento sobre o comportamento do fogo por parte dos profissionais, principalmente na escolha dos materiais e na configuração de medidas preventivas nas edificações. Como forma de prevenção entende-se o conjunto de medidas de protecção passiva, isto é, a aplicação de técnicas de construção previstas em fase de projecto com o intuito de impedir, reduzir e/ou confinar a propagação de um incêndio num edifício.

O trabalho desenvolvido neste documento toma em consideração a problemática nas questões regulamentares no que toca à permissividade do uso de soluções construtivas com o intuito de otimizar a qualidade das construções, soluções essas que podem não salvaguardar os requisitos de segurança contra incêndios.

Vive-se numa época em que somos constantemente confrontados com questões económicas e ambientais que se reflectem directamente na construção. O desenvolvimento económico mundial tem conduzido a uma dependência extrema de recursos energéticos de carácter não renovável que se reflecte directamente na qualidade de vida das populações. A construção de edifícios é um dos sectores da economia com maior impacto negativo sobre o ambiente. Ainda maior é o impacto durante a sua exploração ou utilização ao longo dos anos.

Surge então o conceito de desenvolvimento sustentável em que são estudadas medidas com o intuito de otimizar os edifícios, melhorando, entre outros, o seu conforto térmico através do aumento da eficiência energética e aumentando a parcela correspondente às energias renováveis.

Uma das vias para aumentar a eficiência energética é através do controlo das perdas de energia por parte dos elementos construtivos. Durante muitos anos uma das soluções mais frequentes para garantir o conforto térmico das edificações foi a execução da parede dupla com isolamento térmico no interior da caixa-de-ar. O natural aprofundamento das exigências relativas ao conforto térmico veio progressivamente chamar a atenção para zonas não correntes da envolvente como as pontes térmicas planas.

A forma mais simples de resolver esta questão passa pela colocação de isolante térmico em camada contínua pelo exterior da parede. Assim, aliada à implementação do novo RCCTE (2006) bem como da certificação energética dos edifícios, tem-se verificado um aumento daquele tipo de soluções de isolamento térmico. Geralmente, e no contexto de uma aplicação adequada do ponto de vista estrito das exigências de conforto higrotérmico, estas soluções têm um óptimo desempenho e, considerando o menor custo tanto material como de aplicação, têm-se revelado a resposta aparentemente mais viável para responder à problemática da eficiência energética.

A aplicação destas tipologias construtivas veio sem dúvida melhorar o desempenho energético das construções; nasce, contudo, uma controvérsia no contexto da segurança contra incêndios. A aplicação de materiais isolantes térmicos, que na sua maioria são combustíveis, vai implicar um maior cuidado na protecção destes sistemas para que se possa reduzir a sua contribuição para a deflagração, o desenvolvimento e a propagação do fogo. Se por um lado existe uma crescente necessidade de otimizar o comportamento termo-higrométrico dos edifícios, entre outros, por outro lado, pode estar associado um aumento do risco de propagação de incêndio, neste caso devido ao aumento da carga térmica.

Aqui reside o ponto fulcral deste trabalho que se pretende constituir como uma análise dos riscos inerentes ao uso de tecnologias que não são totalmente contempladas ao nível regulamentar e a criação de critérios para elaboração de fachadas que visem melhorar os parâmetros de segurança contra incêndios.

O presente trabalho pretende assim ser um documento informativo que permita um melhor entendimento dos critérios de elaboração de sistemas de fachada com isolamento térmico pelo exterior que em Portugal.

Pretendeu-se reunir neste documento conhecimento necessário à visão integrada da temática dos incêndios em edifícios numa perspectiva de diminuição dos riscos de propagação e deflagração que toca a soluções de projecto.

Contudo é de referir que estes sistemas apresentados devem ser alvo dum estudo mais aprofundado por parte de órgão acreditados para o efeito no sentido de criar especificações técnicas que venham melhorar o comportamento deste tipo de soluções em caso da ocorrência dum sinistro de incêndio grave.

Organização do texto

O texto está organizado em duas partes: Análise do fenómeno do fogo em edifícios e o comportamento de sistemas de fachada ao fogo.

A primeira parte inclui três capítulos e destina-se a sintetizar o estado actual do conhecimento sobre o comportamento do fogo em edifícios. O capítulo 1 descreve o fenómeno do fogo abordando os diferentes tipos e processos de combustão, os produtos resultantes e os diferentes meios de propagação de calor. O capítulo 2 aborda as condições de eclosão de um incêndio, como se desenvolve e se propaga num edifício, bem como noções de compartimentação e de carga de incêndio. O capítulo 3 trata da classificação regulamentar dos elementos e produtos de construção relativa ao seu comportamento ao fogo.

A segunda parte inclui quatro capítulos nos quais é feita uma análise do comportamento ao fogo de sistemas de fachada. O capítulo 4 contextualiza o uso crescente de soluções de fachada com isolamento térmico pelo exterior, seguidamente é caracterizado os sistemas de ETICS e Fachada Ventilada onde são abordados os diferentes tipos de materiais mais correntemente usados nestes tipos de solução. O capítulo 5 trata dos mecanismos de propagação dum incêndio em fachadas: propagação das chamas com/sem a contribuição do sistema de revestimento exterior e apresenta um conjunto de casos de incêndio real em edifícios com fachadas não-tradicionais. O capítulo 6 analisa casos de estudo realizados no estrangeiro onde foram testados vários sistemas de fachada em situações de incêndio real. No capítulo 7 é feita uma análise das exigências gerais de segurança contra incêndios os tipos de fachada em causa, onde se organizou e desenvolveu um conjunto de princípios que visam melhorar o comportamento destas fachadas em caso de incêndio.

Por fim, são elaboradas as conclusões do trabalho e apresentadas sugestões de trabalhos futuros.

Parte I – Analise do fenómeno – O fogo em edifícios

1 O Fogo

A determinado momento da elaboração de um projecto, os especialistas são confrontados com a necessidade de conhecerem e assimilarem os diversos factores que influenciam o comportamento de serviço de uma estrutura. Da mesma maneira que ao considerar a protecção contra incêndios em edifícios como parte integrante de um projecto de construção, é de todo o interesse compreender o fenómeno do fogo e o seu comportamento para que os princípios de segurança possam ser devidamente aplicados.

1.1 O Fenómeno – O fogo

O fogo é um fenómeno que envolve uma reacção química fortemente exotérmica denominada por combustão que se manifesta por chamas, emissão de fumos e outros gases e pela libertação de calor.

Esta reacção de combustão (reacção elementar de oxidação-redução) ocorre quando se combina um comburente com um combustível, resultando na oxidação rápida deste último, alterando as suas propriedades físicas e libertando calor.

Sendo a combustão uma reacção que ocorre em contacto com a atmosfera, denomina-se o oxigénio como o comburente típico considerado para o estudo do fogo em que a sua percentagem no ar é normalmente de 21%. Se, numa combustão, a concentração de oxigénio descer abaixo dos 15%, deixam de haver condições para produção de chama o que pode resultar na extinção do incêndio. Contudo podem existir condições para que ocorra uma combustão sem chama, que se denomina por brasa, em que a concentração mínima de oxigénio é de 0,4% [2].

Um combustível é qualquer substância susceptível de dar início a uma combustão na presença dum comburente. De um modo geral, qualquer material tradicional, natural ou sintético, que tenha como elementos principais da sua estrutura molecular o carbono e o hidrogénio, é um potencial combustível.

Apesar dos corpos combustíveis estarem sempre na presença do comburente, isso não basta para que ocorra uma combustão, o que seria considerado uma combustão espontânea, visto que estamos sempre na presença de oxigénio e que os elementos carbono e hidrogénio são a base de quase tudo o que é material.

Logo, para que ocorra esta reacção química, é necessária a existência dum terceiro elemento que despolete a combustão denominado por energia de activação, que não é nada mais do que a energia necessária a fornecer ao combustível para provocar um aumento do seu nível térmico. Esta energia varia de elemento para elemento e pode ter origem numa fricção, choque, faísca, num ponto quente ou chama.

Assim sendo, é evidente que, para que ocorra uma combustão, devam estar simultaneamente presentes um combustível, um comburente e uma energia de activação, produzindo combinações sucessivas, dando lugar a uma reacção em cadeia que pode originar um fogo [1], [2] (figura 1.1).

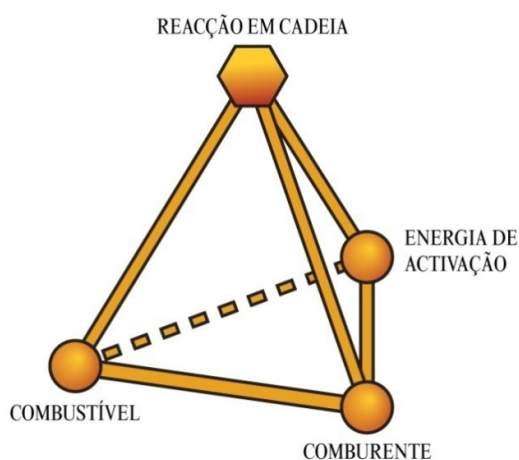


Figura 1.1 - Tetraedro do fogo [1]

1.2 Tipos de combustão

O processo de combustão pode-se dar de um modo completo ou incompleto. Ao existir uma percentagem de oxigénio suficiente para que ocorra o consumo total dum combustível, a combustão será naturalmente completa, verifica-se a libertação da quantidade máxima de calor e dos produtos resultantes da combustão.

Caso haja um excesso de oxigénio ou um défice acentuado deste, o combustível não é consumido na sua totalidade, resultando também produtos que ainda são combustíveis. Neste caso, o processo denomina-se de combustão incompleta.

Uma combustão completa pode ser caracterizada consoante os níveis de temperatura atingidos e também a fracção de tempo em que ocorre.

A combustão é considerada lenta quando a temperatura atingida pelo material que sofre combustão e pelos produtos daí resultantes não é superior a 500 ° C. Neste tipo de combustão quase não há produção de chama ou fumos.

Uma combustão viva é aquela em que há lugar a uma emissão de fumos mais ou menos opacos e a uma radiação luminosa que é uma mistura de gases combustíveis, de ar e de partículas de carbono a que se denomina por chama. É caracterizada por atingir níveis de temperatura acima dos 500 ° C e a sua intensidade depende de uma maior ou menor quantidade de entrada de ar no processo. No caso dos sólidos, cuja combustão decorre à superfície, verifica-se a incandescência a partir da sua ignição e também através da formação de brasas. Estas surgem quando o combustível já não liberta gases suficientes para provocar chama. A combustão do carvão ilustra estes aspectos.

Quando ocorre a inflamação súbita de uma mistura de gás combustível e ar, deflagrando a combustão a todo o volume em fracções de segundo, a uma velocidade inferior à do som no ar (340 m/s), denomina-se o processo por combustão muito viva.

Se a combustão for resultado da mistura de gases ou partículas finamente divididas, e em que o ar esteja presente numa percentagem tal que crie uma mistura explosiva ou detonante que ocupe todo o espaço onde está contida, provocando uma elevação brusca de temperatura e/ou de pressão e propagando-se a uma velocidade superior a 340 m/s, então denomina-se este tipo de combustão por explosão [1][2][6].

1.3 Processos de combustão

Os materiais sofrem diferentes processos de combustão consoante o tipo de substância. Destaca-se agora uma breve caracterização dos processos de combustão das substâncias nos vários estados em que se podem encontrar. O combustível pode apresentar-se:

- No estado sólido, como o carvão, a madeira e os plásticos;
- No estado gasoso, como o metano, o propano e o hidrogénio;
- No estado líquido, como o petróleo, o benzeno e a acetona.

1.3.1 Combustão dos sólidos

Os combustíveis sólidos são constituídos por elementos com uma coesão molecular elevada. Desta forma, para entrarem em combustão, terão de sofrer uma acentuada decomposição que permita a ocorrência da reacção.

A combustão de um combustível sólido pode fazer-se de duas formas:

- Por pirólise em que o corpo sólido sofre uma decomposição ao nível molecular provocada por uma fonte de calor; esta, por sua vez, despoleta a libertação de gases inflamáveis que vão entrar em combustão dando origem a chamas. A combustão do sólido pode compreender duas fases diferentes. Numa fase inicial, de pré-aquecimento, o material sólido é aquecido até atingir o seu ponto de fulgor, a partir do qual entra em combustão até que seja retirada a fonte de calor; em alternativa, prossegue em combustão caso atinja o ponto de combustão, reagindo assim de um modo auto-sustentável.

Aquecimento → Libertação de voláteis → Combustão de voláteis →

→ Combustão da matéria sólida → Cinza

- Por brasas, em que a combustão se dá praticamente sem chamas mas com forte emissão de radiações.

1.3.2 Combustão de Gases

Os combustíveis gasosos são caracterizados pela sua facilidade de entrarem em combustão pois são constituídos por elementos com uma coesão molecular praticamente nula, não tendo assim de sofrer qualquer decomposição para se inflamarem.

Para que uma massa de gás inflamável entre em combustão tem de se verificar um certo número de factores que possibilitam a inflamação. São eles o fornecimento de determinada quantidade de energia, normalmente pequena; uma proporcionalidade adequada entre o combustível e o ar; uma percentagem de oxigénio incluída num determinado intervalo de valores; um determinado valor de temperatura e, eventualmente, de pressão.

Quanto à proporcionalidade entre o combustível e o comburente, definem-se limites para que a combustão fique num domínio de inflamabilidade. Um limite inferior de inflamabilidade, abaixo do qual a mistura é demasiado pobre em combustível e um limite superior de inflamabilidade, acima do qual a combustão cessará pois a mistura é demasiado pobre em comburente. Qualquer destes limites depende do gás combustível na mistura gasosa e sofre variações com a temperatura, a pressão e a percentagem de oxigénio no ar. Um aumento da temperatura ou da pressão tem por efeito alargar o domínio de inflamabilidade, enquanto que uma diminuição destes factores tem o efeito inverso.

Assim, pode concluir-se que misturas demasiado ricas ou demasiado pobres não ardem, sendo que a combustão apenas se propagará se a proporção ar/combustível estiver dentro daqueles limites.

1.3.3 Combustão de líquidos

A combustão de um líquido não se dá devido a uma reacção deste corpo no seu estado elementar mas sim após a sua decomposição, processo que liberta gases voláteis sob o efeito de uma fonte de calor; são pois estes gases que vão sofrer a combustão.

Para que possa haver uma combustão é necessário que o líquido emita vapores suficientes para que a percentagem da mistura vapores/ar seja tal que o domínio de inflamabilidade seja atingido. Esta vaporização está intimamente ligada à temperatura do próprio líquido, pois quanto maior for a temperatura a que este seja aquecido, maior a quantidade de vapores emitidos. Por outro lado, a vaporização depende ainda dos seus pontos de inflamação, combustão e ignição.

1.4 Temperaturas características

Os corpos combustíveis sólidos e líquidos, ao receberem calor, aquecem até atingirem um determinado valor de temperatura em que começam a libertar gases voláteis (os combustíveis inflamáveis normalmente já libertam gases à temperatura ambiente).

Assim, devem referir-se três tipos de temperatura ligados ao processo de libertação de vapores inflamáveis e que variam consoante o tipo de material:

1.4.1 Temperatura de Inflamação (ponto de fulgor)

Temperatura mínima à qual uma substância liberta vapores combustíveis em quantidade suficiente para formar com o ar uma mistura que, por acção duma fonte de calor exterior, se inflama. A esta temperatura, as chamas apagam-se quando se retira a fonte de calor. Podem citar-se, a título de exemplo, para a madeira, 245° C, para o gasóleo, 91° C e para a gasolina, 40° C.

1.4.2 Temperatura de Combustão

Temperatura mínima à qual uma dada substância é capaz de emanar vapores combustíveis em quantidade suficiente para formar, com o ar, uma mistura que arda quando em contacto com uma fonte de calor, mantendo a combustão ainda que retirando a fonte de calor. As temperaturas de combustão da madeira, do gasóleo e da gasolina são, respectivamente, 270° C, 104° C e -20° C.

1.4.3 Temperatura de (auto) Ignição

Temperatura mínima a partir da qual uma substância é capaz de libertar vapores combustíveis em quantidade suficiente para formar com o ar uma mistura que entra em combustão espontânea independentemente de qualquer fonte directa de calor. As temperaturas de ignição da madeira, do gasóleo e da gasolina são, respectivamente, 290° C, 330° C e 227° C.

1.5 Produtos da combustão

A combustão de um determinado material dá, em geral, origem a um conjunto de produtos resultantes dessa reacção como calor, chama, gases resultantes da pirólise, fumos e cinzas.

À energia libertada pela reacção dá-se o nome de calor, que é o principal responsável pela propagação do fogo, dado que aquece todo o ambiente e os produtos combustíveis presentes. Afecta as pessoas na razão directa da sua intensidade e do tempo de exposição.

As chamas são a manifestação de gases incandescentes, visíveis, em redor da superfície do material em combustão, sendo possível ter uma ideia do combustível presente através da sua cor. A combustão no ar resulta da combinação do oxigénio com o carbono (elemento mais comum nos combustíveis) de que resultam, entre outros, óxidos diversos. Os produtos finais da combustão dependem do tipo de combustível, sendo os mais comuns o dióxido de carbono (CO₂), o monóxido de carbono (CO), o ácido clorídrico (HCl), o ácido cianídrico (HCN) e o dióxido de enxofre (SO₂).

Os gases e fumos resultantes da combustão são, de um modo geral, tóxicos. A presença destes gases, em valores de concentração elevados, pode apresentar um perigo elevado para as pessoas que tenham de respirar a atmosfera onde eles se encontram. A inalação destes gases e fumos provenientes da combustão podem provocar a paralisia do sistema respiratório o que, consequentemente, leva à morte.

Os fumos são partículas sólidas semi-queimadas que se encontram em suspensão nos gases e a sua concentração pode ser elevada quando ocorre uma combustão incompleta. Os fumos reduzem a visibilidade nos locais onde se dá a combustão, o que dificulta a evacuação das pessoas para as rotas de fuga e saídas de emergência.

Os combustíveis sólidos geralmente contêm substâncias minerais que não sofrem combustão e que se depositam sob a forma de cinzas.

1.6 Propagação do calor

Os mecanismos de desenvolvimento e propagação de um incêndio estão ligados a fenómenos físicos comuns de transmissão de calor, em que a transferência de energia térmica é feita por processos de condução, convecção e radiação.

As trocas de calor são estabelecidas por condução no interior dos elementos construtivos e dos materiais que não sofreram combustão, por convecção dos gases quentes sobre os pavimentos, paredes e tectos e por radiação das chamas e dos fumos sobre os elementos visíveis, conforme se representa na figura 1.2. [1] [6].

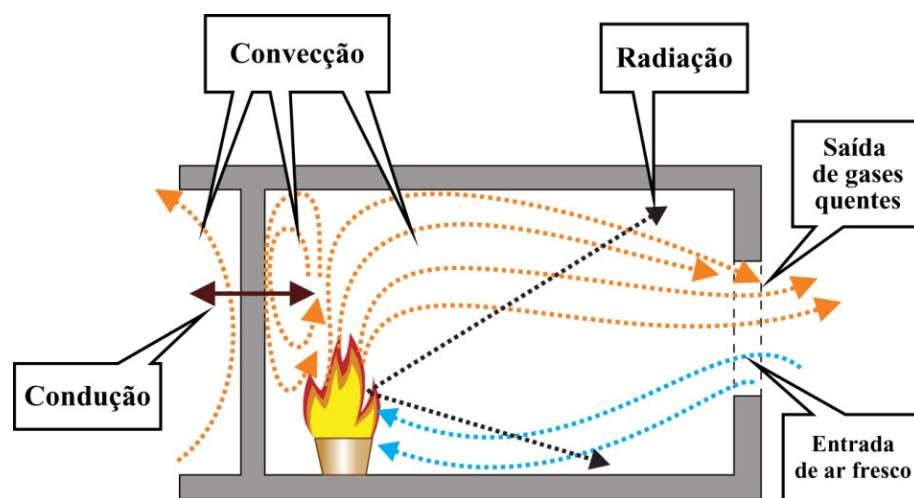


Figura 1.2 - Diferentes processos de transmissão de calor [1]

Um caso particular de processo de propagação de calor não contemplado pelas leis gerais da termodinâmica mas que pode assumir alguma relevância no que se refere à propagação do fogo nos edifícios é o fenómeno de projecção. Por vezes a transmissão do fogo faz-se por intermédio de partículas aquecidas ou inflamadas que se desprendem do corpo em combustão e são projectadas à distância, atingindo outros corpos.

1.6.1 Condução

Este processo de transferência de calor ocorre nos sólidos e nos fluidos essencialmente em repouso. A energia é transferida através da interacção entre partículas que estão em íntimo contacto umas com as outras. As partículas mais quentes, com maiores movimentos vibratórios, transferem energia, por contacto, às partículas imediatamente ao lado, mais frias e com menor vibração.

Esta transferência de energia do lado quente para o lado frio é chamada de fluxo de calor por condução.

O calor desenvolvido pela combustão de um corpo transmite-se não só às outras partes do corpo como também para outros corpos existentes, em contacto com o primeiro.

Os diferentes materiais possuem comportamentos diversos consoante a velocidade a que transferem calor por condução, o que depende da sua condutibilidade térmica, λ , expressa geralmente em W/(m.°C).

1.6.2 Convecção

A convecção é um mecanismo de transmissão de calor que ocorre nos fluidos (líquidos e gases). Ao contrário da condução onde o calor é transmitido localmente ao nível molecular, a convecção dá origem a um fluxo de calor resultante de um movimento macroscópico de partículas num sistema, transportando para uma região fria calor que receberam de uma região quente.

Quando o movimento do fluido é devido a uma acção externa, diz-se que a convecção é forçada. Por outro lado, quando são os próprios efeitos térmicos do sistema que provocam o movimento do fluido, diz-se que a convecção é natural.

No âmbito deste trabalho, toma-se como exemplo um pequeno foco de incêndio com chama. Quando a massa de ar em torno da chama é aquecida, as suas moléculas vibram mais intensamente, afastando-se umas das outras. O volume ocupado por essa porção de ar quente aumenta o que tem como consequência uma redução do valor da sua densidade. Esta massa menos densa tem pois tendência a sofrer um movimento de ascensão, ocupando o lugar das massas de ar que estão a uma temperatura inferior. O volume de ar mais frio e mais denso, por sua vez, vai descer, tomando o lugar que antes era ocupado pela parte de ar anteriormente aquecida. Este processo repete-se inúmeras vezes, dando origem às chamadas correntes de convecção.

1.6.3 Radiação

O calor à superfície de um corpo é transformado, segundo as leis da termodinâmica, em radiação electromagnética. Este processo de transferência de energia não necessita de meio material para se propagar, ao contrário da condução (que necessita de um meio sólido) e da convecção (que necessita de um meio líquido ou gasoso); deste modo, a radiação difunde-se através de massas de ar mas também através do vácuo, com características semelhantes às da luz, em quantidade que depende essencialmente da sua natureza e temperatura.

Ao atingir a superfície do corpo receptor, a radiação térmica transmitida por um corpo emissor sofre parcialmente reflexão, outra parte é absorvida, podendo ainda haver lugar a transmissão no caso de corpos transparentes ou translúcidos. A componente relativa à absorção resulta numa transferência de calor de um corpo para outro de uma radiação electromagnética.

Um corpo em equilíbrio térmico com a sua vizinhança emite e absorve a mesma quantidade de energia. Contudo, se a sua temperatura for superior à da sua vizinhança, ele emitirá mais energia radiante do que aquela que absorve.

A emissão é o fenómeno de transformação de calor em radiação e é independente da absorção que é o fenómeno de transformação de radiação em calor.

Um incêndio relativamente desenvolvido é susceptível de emitir energia suficiente para provocar a sua propagação a corpos situados na sua vizinhança. A distância considerada crítica em termos de radiação é de oito metros [6].

2 Desenvolvimento e propagação do incêndio num edifício

Neste capítulo pretende-se desenvolver o conhecimento sobre o comportamento do fogo em edifícios para uma melhor compreensão da necessidade da inclusão, por parte dos projectistas, das disposições regulamentares de segurança contra incêndios, nomeadamente no que se refere a exigências feitas para elementos e materiais de construção e compartimentação corta-fogo, entre outras.

2.1 Condições de eclosão

Um incêndio é a ocorrência de um fogo não controlado iniciado numa zona restrita de um edifício cujas causas de eclosão podem ser muito diversificadas. Verifica-se no entanto que seja qual for a causa de um incêndio, este é geralmente fruto de um descuido ou de uma má utilização de equipamento.

Das inúmeras causas possíveis, podem destacar-se como mais frequentes o uso de aparelhos eléctricos defeituosos, curto-circuitos de instalações eléctricas, fósforos, cigarros, velas, projecção de partículas incandescentes de locais de incineração e manipulação de produtos inflamáveis sem protecção.

Um incêndio é uma combustão caracterizada pelo aparecimento, manutenção e propagação da chama, libertação de calor, bem como emissão de gases e fumos. Como já referido, a sua ocorrência depende da verificação de certas condições. Tem de existir não só um combustível (qualquer material que possa estar no interior de um edifício susceptível de arder na presença do ar comburente), como também uma fonte de calor que despolete o fenómeno de oxidação rápida por reacção em cadeia [1].

A fonte de calor tem que conter energia suficiente para aumentar rapidamente a temperatura superficial do combustível até ao ponto em que este entra em combustão. Essa fonte de energia pode ter origem numa pequena chama ou faísca ou ainda numa brasa reluzente com temperatura elevada, na ordem dos 600° C a 1000 ° C. Estas temperaturas estão muito acima dos valores de ignição da maioria dos materiais que podem existir num compartimento; no entanto, o que possibilita a ignição de um material combustível é o seu potencial calorífico. Sendo este potencial a quantidade de energia térmica susceptível de ser libertada pela combustão do material, se for elevado, pode mesmo resultar no rápido desenvolvimento do incêndio.

Assim, uma vez exposta à fonte de calor, a superfície do material sólido aquece significativamente. Quando a temperatura de um material atinge um determinado valor, ocorre a sua pirólise, que se caracteriza pela rotura da estrutura molecular sob acção do calor, resultando na libertação de gases de decomposição do produto que, por sua vez, são combustíveis. Quando em quantidade suficiente, a libertação destes gases dá origem à formação de uma mistura com o oxigénio do ar que, em contacto com uma fonte de calor, se inflama. Em consequência, verifica-se também a inflamação do material que, ardendo continuamente, produz mais calor e chama. Para além disso, ocorre consumo de oxigénio, produção de vapor de água, dióxido e monóxido de carbono, bem como a formação de diversos produtos a partir da decomposição do carbono, oxigénio e hidrogénio [1][3].

2.2 Desenvolvimento de um incêndio

No pressuposto de que a deflagração ocorre num determinado compartimento de um edifício, pode considerar-se que um incêndio, ao longo do seu desenvolvimento natural, passa por várias fases distintas:

- Ignição: fase inicial;
- Incêndio localizado (pré-flashover): fase crescente;
- Flashover: fase de inflamação generalizada;
- Incêndio generalizado (pós-flashover): fase de combustão contínua;
- Fase de declínio.

Na figura 2.1, representa-se graficamente o desenvolvimento teórico da temperatura durante um incêndio.

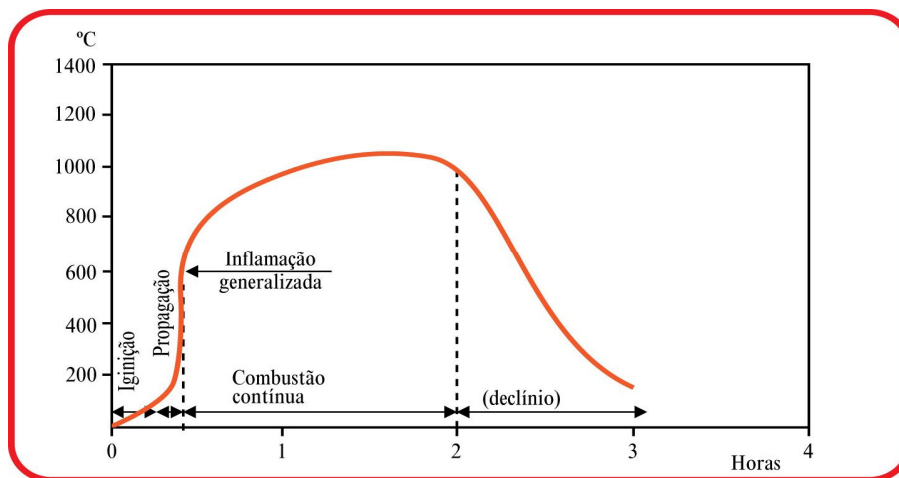


Figura 2.1 - Fases de desenvolvimento de um incêndio [1]

As condições de eclosão/ignição de um incêndio foram indicadas no ponto anterior. Contudo, é de referir que, ao deflagrar-se, um incêndio geralmente nunca envolve todo o compartimento.

Na fase inicial, um incêndio localizado apenas evolui para um incêndio de maiores proporções, se for verificada uma série de condições. Pode referir-se, como exemplo, a libertação de uma quantidade de calor suficiente, depois de extinta a fonte de energia de ignição, para que o material continue a reacção de um modo auto-sustentável.

As temperaturas no compartimento durante a fase inicial (ignição) são relativamente baixas uma vez que o calor emitido pela decomposição do combustível é pouco significativo para o aquecimento do sistema.

Em condições favoráveis, o fogo continua a crescer, sendo este crescimento limitado pela quantidade de combustível disponível para reagir ou pela quantidade de oxigénio necessária para que ocorra a combustão.

Na fase crescente do incêndio, a decomposição dos combustíveis mantém a libertação de gases que se incendeiam e produzem mais calor. A sua dissipação por convecção e radiação vai contribuir para o aquecimento do compartimento e, principalmente, dos materiais que estejam nas imediações do foco inicial, resultando em mais libertação de gases inflamáveis e, consequentemente, em mais combustão, fazendo com que o ciclo progrida.

A maioria do calor produzido num incêndio é transmitido por convecção. Quando o ar em torno do fogo aquece, expande. Esse ar torna-se menos denso do que o que está na área envolvente e ascende. É então que o ar mais frio é atraído para alimentar o fogo, formando correntes de convecção que possibilitam a rápida propagação do fogo da zona inferior para a zona superior do compartimento.

O ar ascendente e os produtos do fogo, como o fumo, a temperaturas muito elevadas, rapidamente aquecem todos os materiais com que contactem. Em simultâneo, o calor dissipado por radiação (proveniente das chamas) também aquece as superfícies dos combustíveis que se encontram nas imediações. Quando aqueles atingem temperaturas de ignição, começam a libertar-se gases inflamáveis, possibilitando a rápida propagação das chamas.

As características dos materiais de revestimento de paredes e tectos têm pois um papel fundamental na forma como o incêndio se desenvolve. Um revestimento de parede inflamável, em contacto com o fogo, entra rapidamente em combustão, contribuindo para o alongamento das chamas que atingem mais rapidamente e com maior intensidade o tecto do local.

Ao atingirem o tecto, as chamas deflectem-se e alongam-se horizontalmente, irradiando calor descendente, enquanto que os gases quentes se vão acumular numa camada de espessura gradualmente crescente. Se o revestimento do tecto for constituído por materiais inflamáveis, ele entrará rapidamente em combustão e haverá um aumento natural das chamas [1].

Nesta fase de desenvolvimento crescente é a radiação descendente das chamas e dos gases quentes do tecto que contribui significativamente para o crescimento do incêndio. À medida que ocorre o aquecimento global do compartimento e juntamente com a radiação descendente, verifica-se um aquecimento progressivo dos combustíveis que estão em zonas afastadas do foco inicial.

Quando as temperaturas abaixo do nível do tecto atingem os 500-600 °C, pode ocorrer a inflamação súbita dos gases acumulados e a combustão espontânea de todos os combustíveis do compartimento.

O incêndio entra assim na fase de inflamação generalizada conhecida por *flashover* em que todo o combustível existente no compartimento está envolvido no incêndio. É um período de transição muito curto caracterizado por um aumento drástico das temperaturas e a partir do qual o incêndio passa de um regime de crescimento linear para uma fase de desenvolvimento contínuo e inflamação generalizada.

Já na fase de combustão contínua, o incêndio está completamente desenvolvido, a carga de incêndio está distribuída uniformemente em todo o compartimento e verifica-se um aumento da taxa de produção de calor, ficando o compartimento sujeito às mais altas temperaturas que podem atingir valores acima dos 1000 °C em incêndios de grande dimensão.

Nestas condições ocorre uma rápida decomposição do combustível por pirólise em quantidades muito superiores àquela que pode ser consumida com o oxigénio existente no compartimento. O ar torna-se saturado devido ao aumento abrupto das concentrações de gases quentes, que se juntam aos outros produtos resultantes da combustão como o monóxido ou o dióxido de carbono.

Se todas as aberturas estiverem fechadas ou se não houver aberturas no compartimento de dimensões consideráveis que permitam a entrada suficiente de ar, considera-se que o incêndio é controlado pela ventilação. O incêndio vai diminuindo de intensidade à medida que os níveis de concentração de oxigénio vão diminuindo, podendo resultar numa combustão incompleta do combustível.

Por outro lado, a severidade de um incêndio num compartimento pode depender da quantidade de aberturas no mesmo. Se existirem aberturas que permitam uma renovação do ar suficiente ou se, a dado momento, a temperatura é tão elevada que origine a quebra de um vidro, ocorre a expulsão dos gases quentes por essas aberturas que, ao encontrarem oxigénio, vão inflamar-se criando chamas longas.

O ar renovado entra no compartimento, alimenta a combustão e vai aumentar a intensidade do incêndio até que todo o combustível do compartimento seja consumido. Neste caso, considera-se que o incêndio é controlado pela carga de incêndio.

Finalmente, depois de consumida a maior parte do combustível, o incêndio entra na fase de declínio até que todos os materiais combustíveis estejam completamente queimados. É a fase em que se denota um natural decréscimo da taxa de produção de calor.

A complexidade de um incêndio é consequência de um conjunto de fenómenos físicos elementares e da dependência de um grande número de parâmetros, tais como o volume do compartimento, a natureza e a quantidade dos combustíveis presentes, a geometria do local e a existência ou não de entradas de ar.

Contudo, nem todos os incêndios têm um desenvolvimento completo pois podem existir determinadas circunstâncias que condicionem esse desenvolvimento ao ponto de nem sequer se atingir uma fase de inflamação generalizada. Circunstâncias essas que podem ser devidas a uma acção directa como é o caso dos sistemas automáticos de extinção e acções dos bombeiros ou podem ser devidas a características inerentes à zona do edifício onde se despoletou o fogo, como uma reduzida carga de incêndio ou a insuficiência de comburente.

2.3 Propagação do fogo no interior do edifício

Um dos objectivos de um estudo de projecto de protecção contra incêndios é prevenir a propagação de fumos e calor da zona onde o incêndio teve origem para outras zonas do edifício.

Se o edifício for construído de maneira a que o calor e os fumos não se propaguem com facilidade, será possível, em caso de incêndio, uma evacuação segura dos ocupantes, bem como restringir os danos materiais a uma determinada zona de influência.

O modo mais eficiente de detecção e combate de um incêndio é a instalação dum sistema automático de sensores de fumo/calor, como por exemplo, um sistema de *sprinklers*. Contudo, quer exista ou não um sistema de combate automático, têm de ser garantidas barreiras físicas para controlo da propagação interna do incêndio num edifício.

2.3.1 Propagação num espaço interior genérico

A propagação de um incêndio do compartimento onde tem origem para outras zonas adjacentes do edifício pode dar-se de várias formas mas, geralmente, é devida aos mesmos processos de transmissão de calor responsáveis pelo desenvolvimento do fogo num compartimento (condução, radiação e convecção).

A propagação geralmente ocorre após a inflamação generalizada do compartimento e é função de certos factores como a natureza das superfícies expostas ao fogo, o local onde ocorre, a diferença de pressões entre o interior e o exterior, entre outros.

Além da geometria do compartimento, outro factor importante para a propagação de um incêndio é o papel desempenhado pelos revestimentos dos elementos de compartimentação. A transmissão de calor entre elementos dá-se mediante as suas características de reacção e resistência ao fogo.

Como já mencionado, e a título de exemplo, refira-se que um revestimento de parede com características inflamáveis origina uma propagação muito rápida das chamas para o tecto. Se ocorrer longe de uma parede, ou se esta for constituída por materiais pouco inflamáveis, que não contribuam para o desenvolvimento do incêndio, a propagação poderá ser significativamente mais lenta. Por seu lado, o revestimento de tecto desempenha um papel decisivo pois é rara a situação em que não é atingido pelas chamas e gases quentes.

O revestimento de piso, na generalidade das situações, contribui pouco para o desenvolvimento do incêndio. Só no caso de um incêndio de pequenas dimensões, isto é, que não tenha intensidade suficiente para inflamar os revestimentos de parede ou de tecto, é que este tipo de revestimentos pode contribuir para a propagação do incêndio entre objectos combustíveis existentes no local.

Assim, verifica-se que a natureza dos revestimentos de paredes e tectos e, em certa medida, de piso, tomam um papel importante no desenvolvimento de um incêndio, nomeadamente no tempo necessário para atingir a inflamação generalizada.

Como também já foi referido, outro factor importante para a propagação do fogo num edifício é a disponibilidade de oxigénio para o pleno desenvolvimento do incêndio. Essa disponibilidade depende das aberturas existentes no edifício. No caso de as aberturas se encontrarem fechadas, há uma grande concentração de produtos resultantes da combustão e a percentagem de oxigénio não é suficiente para que ocorra uma combustão completa ou até mesmo se atinja uma fase de inflamação generalizada. Contudo, havendo aberturas que permitam a suficiente ventilação do espaço, o incêndio pode evoluir muito rapidamente, possibilitando que haja uma propagação deste a zonas adjacentes do edifício.

Relativamente aos meios e condições para que um incêndio se propague para outros locais do edifício, seguem-se agora algumas considerações.

Se os elementos de compartimentação não resistirem às altas temperaturas e cederem, criando uma abertura para um local adjacente, o fogo propaga-se naturalmente para esse local.

A propagação também pode ocorrer por condução de calor caso os elementos não sejam providos de resistência corta-fogo suficiente e detenham níveis de condutibilidade térmica que resultem no aquecimento dos outros elementos constituintes dessa compartimentação. Exemplificando, caso o revestimento de uma parede permita a condução de calor para os materiais adjacentes, até ao ponto em que estes atinjam o seu ponto de ignição, o fogo propaga-se para outro compartimento.

Caso um incêndio ocorra num espaço muito pequeno ou totalmente fechado e a envolvente satisfaça os critérios impostos pelas disposições regulamentares, a probabilidade de se propagar será muito reduzida.

Um risco de propagação particular ocorre em cavidades horizontais ou verticais extensas existentes na construção, nomeadamente nas paredes ou tectos, como caixas-de-ar.

A penetração do fogo nestas cavidades, criando o denominado *efeito chaminé*, origina a propagação de chamas e gases quentes a distâncias consideráveis. Esta situação pode ser significativamente agravada caso existam nestas cavidades materiais combustíveis como, por exemplo, alguns isolantes térmicos.

Como já foi referido anteriormente, quando se dá a combustão, estabelecem-se correntes de convecção ascendentes que levam os gases quentes, menos densos que o ar envolvente, até ao topo do compartimento. Como consequência directa das elevadas temperaturas que se verificam na zona onde o fogo se desenvolve, ocorre uma dilatação desses gases aumentando a diferença de pressão entre o interior e o exterior do compartimento.

Essa diferença de pressão, que toma valor máximo na fase de combustão contínua, vai provocar uma fuga por convecção das chamas e gases quentes pela parte superior das aberturas existentes no compartimento, como janelas abertas ou que quebraram devido às elevadas temperaturas, por portas abertas, escadas não enclausuradas, redes técnicas, comunicações horizontais comuns, espaços de difícil acesso e outros, propagando o fogo a outras zonas do edifício.

2.3.2 Propagação nas comunicações horizontais comuns

A propagação do fogo nas comunicações horizontais comuns ocorre normalmente quando o incêndio se encontra já num estado avançado de desenvolvimento. Assume-se geralmente o princípio de que raramente um fogo tem origem nestes espaços. Deste modo, pressupõe-se que é por portas não enclausuradas ou que não resistiram às altas temperaturas (havendo assim uma cedência da barreira corta-fogo) que o fogo se propaga até estes espaços. A propagação do fogo no interior das circulações é função da sua geometria e da natureza dos materiais presentes.

Assim, ao haver a penetração, no espaço, das chamas, gases e partículas quentes resultantes do incêndio, que irão incidir sobretudo ao nível do tecto, este fica sujeito às mais altas temperaturas, podendo também entrar em combustão. Num mecanismo de transferência de calor por radiação entre o tecto e o pavimento, que não estejam revestidos por materiais com adequada resistência ao fogo, o tecto pode desempenhar um papel importante no desenvolvimento do incêndio nestes locais.

2.3.3 Propagação através de espaços de difícil acesso e casos particulares

Um incêndio pode também manifestar-se em espaços de difícil acesso ou estes podem ser o um meio de propagação do mesmo. Incluem-se neste tipo de espaços redes e galerias técnicas, sótãos, tectos falsos, caixas de elevador, entre outros. O comportamento dos diferentes materiais que possam existir nestes espaços, como isolamentos térmicos ou tubagens de comunicações e condutas das redes eléctricas, que são usualmente de materiais combustíveis, podem desempenhar um papel importante na propagação do incêndio a outros níveis do edifício.

Será através dos movimentos de convecção dos gases quentes, acompanhados pela inflamação dos materiais combustíveis, que o fogo se propaga com facilidade. A existência de ductos verticais e horizontais não devidamente protegidos pode facilitar a propagação de fumos e gases quentes, generalizando o incêndio a todo o edifício.

As aberturas existentes na construção podem funcionar como chaminés, permitindo que os fumos, gases quentes e chamas se propaguem pelo edifício. Este fenómeno será explicado com mais pormenor no próximo capítulo.

Em relação a espaços abertos que possam existir num edifício, como grandes átrios, os conceitos de compartimentação vertical e horizontal são mais complexos de conceber. Contudo, têm de se manter os mesmos níveis de segurança, considerando novas soluções nos edifícios, de modo a que as questões de segurança contra incêndio sejam devidamente consideradas.

Em suma, a propagação do fogo no interior de um edifício, está dependente do tipo do local onde ocorre, da concepção de barreiras corta-fogo como elementos de compartimentação, da ventilação dos espaços, de um sistema de extinção automático e, sobretudo, do comportamento ao fogo dos materiais constituintes dos vários elementos de construção.

2.3.4 Carga de incêndio de um compartimento

Os primeiros dados para projectar um edifício seguro contra incêndios consistem em avaliar a energia que vai afectar a estrutura. A quantificação dessa energia é uma característica fundamental para prever o desenvolvimento de um eventual incêndio.

Essa quantificação revê-se no conteúdo do edifício, nomeadamente o material combustível existente que é de carácter variável ao longo do tempo e consoante o tipo de ocupação do mesmo.

Esta quantificação denomina-se por *carga de incêndio* de um edifício e define-se como sendo o potencial calorífico ou a quantidade de calor libertada na combustão completa do conjunto de materiais existentes nos vários compartimentos, incluindo mobiliário, revestimento de paredes, divisórias, soalhos e tectos.

Esta carga de incêndio é obtida a partir do somatório dos produtos das massas em quilogramas de cada material pelo seu poder calorífico, que se entende como sendo a quantidade de calor emitida pela massa de um corpo que arde inteiramente. Geralmente, exprime-se a carga de incêndio em kJ ou kCal.

Define-se a densidade de carga de incêndio como sendo a carga de incêndio por unidade de área do compartimento.

De notar que a previsão da carga de incêndio num edifício pode ter um carácter variável pois existe uma parte, denominada carga móvel, independente da construção, que não permanece constante ao longo do tempo.

2.3.5 Controlo da propagação de um incêndio através de uma protecção passiva

Considerando que um incêndio é um sinistro de causas acidentais, a sua eclosão não pode geralmente ser prevista; por outro lado, é possível criar condições preventivas que detectem e confinem o incêndio, salvaguardando assim a vida das pessoas e a integridade de bens.

Um critério notavelmente eficiente no que toca a uma protecção passiva de controlo de propagação é o critério de *compartimentação*. Esta metodologia consiste em dividir o edifício numa serie de compartimentos delimitados por paredes, pisos, tectos, portas e janelas, com adequada resistência ao fogo que, visam conter um incêndio na sua zona de eclosão, limitando os riscos de propagação a outras zonas do edifício.

O princípio deste critério de compartimentação é que a resistência ao fogo dos revestimentos e dos elementos corta-fogo seja suficiente para suportar a combustão total do conteúdo do compartimento, funcionando como barreiras à propagação do incêndio, confinando o fogo dentro do compartimento.

O dimensionamento da compartimentação está relacionado com o grau do risco de vida e a carga de incêndio do edifício, por um lado, e a resistência ao fogo da estrutura e dos elementos de compartimentação e a altura do edifício, por outro.

Assim, os critérios de limitação são cumpridos quando:

- O fogo fique contido numa zona restrita que reduza o potencial de danos provocados, facilitando assim o combate;
- Exista adequada resistência ao fogo (paredes, pisos e tectos do compartimento, continuidade na resistência ao fogo, devido ao encerramento e protecção das aberturas verticais e horizontais);
- Exista integridade das paredes e pisos (barreira ao fogo adequada que previna a penetração noutros compartimentos, adequado encerramento das aberturas);
- Esteja garantida a estabilidade estrutural sob a acção do fogo num determinado período de tempo;
- Haja uma redução da probabilidade de desenvolvimento do incêndio: uso de revestimentos com fraca capacidade de propagação de chama, uso de materiais não combustíveis, etc;
- Em caso de um incêndio generalizado numa unidade de compartimentação, estejam salvaguardados os caminhos de evacuação, situação esta crucial para a segurança da vida das pessoas.

Os critérios para uma protecção passiva devem ser previstos em fase de projecto e cumprir especificações técnicas fornecidas pela regulamentação de segurança contra incêndio.

As regras nacionais definem compartimentos de incêndio com resistência baseada na curva ISO 834 (vide fig. 3.3) [20] para paredes, tectos, portas e pavimentos, dependendo da ocupação e da geometria do edifício.

A regulamentação fornece uma série de especificações de delimitação desses compartimentos, tal como dimensões e valores mínimos de resistência ao fogo dos diversos constituintes, que variam consoante o tipo de ocupação do edifício. O cumprimento destas especificações, de carácter obrigatório, implica que o edifício fique dentro dos parâmetros mínimos de segurança.

2.4 Propagação do incêndio pelo exterior do edifício

A propagação dum incêndio no exterior dum edifício pode-se dar consoante vários mecanismos, sendo estes, a propagação do fogo em coberturas, a propagação a edifícios adjacentes e a propagação através dos sistemas de revestimento exterior a outras zonas do edifício. Os dois primeiros mecanismos serão analisados de um modo sucinto ainda neste capítulo, sendo o terceiro ponto o foco central deste trabalho em que se pretende caracterizar a propagação dum incêndio pelo meio exterior do edifício, bem como analisar a contribuição de sistemas de fachadas não tradicionais no desenvolvimento dum incêndio. Este tema será analisado na segunda parte deste trabalho.

2.4.1 Propagação do incêndio em coberturas

As coberturas são zonas dum edifício onde, de um modo geral, não se deflagra um incêndio mas podem ser um meio por onde este se propague.

Um fogo que se encontre num compartimento no último piso dum edifício, pode quebrar a barreira de resistência ao fogo imposta pelos revestimentos de tecto e atingir a cobertura.

Assim sendo, as coberturas devem ser construídas de modo a apresentarem um bom comportamento ao fogo, bem como qualquer estrutura de suporte da cobertura que possa existir tem de estar devidamente protegida com uma adequada resistência ao fogo. Isto para prevenir qualquer eventual colapso que possa ocorrer devido à acção do fogo e que possa pôr em risco quer a vida dos ocupantes, quer a estabilidade de outros elementos construtivos.

Um incêndio pode também alcançar a cobertura dum edifício através duma propagação exterior pelos elementos de fachada. Mais uma vez os materiais de revestimento da cobertura têm um papel preponderante no eventual desenvolvimento deste. Não sendo uma área habitável, a propagação pela cobertura não afecta directamente a segurança da vida das pessoas; contudo, os revestimentos devem ter características pouco inflamáveis, sobretudo pelo facto de, por vezes, ser pela cobertura que se efectuem os caminhos de evacuação em caso de um incêndio.

2.4.2 Propagação do incêndio a edifícios adjacentes

Quanto à propagação do fogo a edifícios vizinhos, isso fica-se a dever a processos de transmissão de calor por condução ou pela passagem das chamas através da parede que separa dois edifícios adjacentes, por radiação pelas janelas e portas existentes ou pela parte opaca da fachada do edifício em chamas, por projecção de brasas incandescentes ou pela acção directa da projecção das chamas para além do espaço que possa existir entre edifícios.

Neste caso, o risco de propagação por radiação é bastante elevado, sendo o principal factor para este meio de propagação. Foram realizados diversos estudos experimentais com o sentido de avaliar o risco de propagação por radiação, estudos esses que permitiram estabelecer distâncias mínimas entre edifícios, assim como as características dos revestimentos e elementos de cerramento dos vãos das fachadas desses edifícios [1].

Assim, a distância entre fachadas adjacentes é um factor que contribui para a escolha dos materiais que revestem o edifício em estudo, podendo potenciar o risco de propagação ao edifício vizinho, no caso de serem de características combustíveis ou facilmente inflamáveis.

Contudo, quer sejam aplicadas restrições ao tipo de revestimento ou se especifiquem classes de comportamento deste, este tipo de propagação é governado pela probabilidade de ignição por radiação, sendo determinante a dimensão do edifício em chamas e a respectiva carga de incêndio, a distância entre as fachadas em confronto, a natureza dos revestimentos de fachada e de cobertura, as caixilharias e os restantes elementos de cerramento de vãos do edifício adjacente [1].

Assim, o Regulamento Técnico de Segurança Contra Incêndio em Edifícios estipula exigências mínimas de resistência ao fogo para elementos construtivos de paredes exteriores consoante a altura do edifício em causa e a distância ao edifício adjacente.

Estas classes de resistência mínimas são obtidas através de ensaios e apreciação técnica dos elementos construtivos por parte dos órgãos acreditados, com o principal objectivo de limitar a transmissão de calor por radiação entre edifícios.

3 Classificação do comportamento ao fogo dos elementos e produtos de construção

O Decreto-Lei n.º 220/2008 [20] define o Regime Jurídico da Segurança Contra Incêndios em Edifícios (RJSCIE) e a Portaria n.º 1532/2008 emitida posteriormente aprova o novo Regulamento de Técnico de Segurança Contra Incêndio em Edifícios (RTSCIE) [19]. Este regulamento, ao contrário da regulamentação antiga, aplica-se a todos os edifícios e recintos itinerantes ou ao ar livre, consoante doze *utilizações-tipo*. Além da subdivisão consoante o tipo de utilização e respectivos locais e categorias de risco, o regulamento apresenta um conjunto de critérios de segurança a impor a diversos níveis desde a concepção dos espaços interiores dos edifícios, as classes de resistência ao fogo de elementos construtivos e as classes de reacção ao fogo mínimas dos materiais de construção e até implicações de natureza urbanística. A título de exemplo, contém exigências para disposições gerais e fiscalização, caracterização do risco de incêndio, condições exteriores, condições de comportamento ao fogo, isolamento e protecção, condições de evacuação, condições para protecção das instalações técnicas, condições para instalação de equipamento e sistemas de segurança, entre outras.

A contribuição dos materiais e dos elementos da construção que possam estar na origem e desenvolvimento dum incêndio é um factor de extrema importância na avaliação dos riscos em caso de incêndio.

Os elementos construtivos e os materiais estão assim sujeitos a uma classificação consoante o seu comportamento ao fogo, classificação essa que é feita de acordo com as normas comunitárias. Para uma posterior percepção dos riscos inerentes ao uso de certos materiais em soluções construtivas que serão apresentadas, tem todo o interesse perceber a origem da classificação de comportamento ao fogo dos produtos de construção e elementos construtivos.

3.1 Reacção ao fogo dos materiais de construção

A reacção ao fogo é um conceito aplicado aos materiais de construção que estão cobertos pela Directiva dos Produtos da Construção (DPC). Este conceito contempla o contributo dos materiais para a eclosão e desenvolvimento dum incêndio. O RTSCIE impõe limites ao grau de reacção ao fogo, nomeadamente a revestimentos e materiais de construção, consoante a aplicação e a altura do edifício.

A afirmação da adequação ao uso de materiais de construção, no âmbito das exigências de Segurança Contra Incêndio em Edifícios, tem por base ensaios de Reacção ao Fogo que deverão, na perspectiva da harmonização europeia para os produtos da construção, ser realizados em respeito pela Decisão da Comissão 2000/147/CE de 8 de Fevereiro de 2000 que aplica a Directiva 89/106/CEE do Conselho, relativa à classificação dos produtos de construção, no que respeita ao seu desempenho em matéria de reacção ao fogo, de modo a que sejam aceites pela Directiva de Produtos da Construção (DPC).

O principal objectivo deste processo de certificação e controlo de qualidade é transmitir total confiança ao cliente/utilizador no que se relaciona com a qualidade da informação prestada acerca do produto ou do serviço adquirido, e visa estabelecer as condições necessárias à livre circulação dos produtos dentro do Espaço Económico Europeu (EEE). Especificamente a Directiva Comunitária dos Produtos de Construção (DPC) (Directiva 89/106/CEE de 21 de Dezembro de 1988, alterada pela Directiva 93/68/CEE de 22 de Julho de 1993) é um sistema de comprovação da conformidade dos produtos de construção assim marcados, com um conjunto de exigências que estabelece as condições necessárias à atribuição de marcação CE.

O sistema de classificação europeia de reacção ao fogo dos produtos de construção está descrito em pormenor na norma europeia **EN 13501-1:2002** [10]. Esta norma europeia fornece o procedimento para classificação de reacção ao fogo para produtos de construção, que podem ser testados singularmente ou em soluções construtivas completas, devido à necessidade de classificar sistemas compósitos de multicamadas como um todo.

Ao nível da regulamentação de segurança contra incêndios em edifícios, os produtos estão sujeitos a uma classificação mínima de segurança em relação à utilização tipo do edifício e com que fim são utilizados (revestimento de paredes, tectos, ductos, caminhos de evacuação, etc.).

A avaliação do desempenho dos produtos de construção é elaborada mediante os resultados dos cinco ensaios europeus de reacção ao fogo dos produtos de construção. Os ensaios em causa apresentam-se de seguida de um modo sucinto:

- Ensaio de não-combustibilidade, que avalia a produção de calor e de chama dos materiais quando sujeitos a temperaturas elevadas, tendo como referência uma situação de pleno desenvolvimento do fogo (ensaio do forno ISO);

- Ensaio de poder calorífico, que avalia o poder calorífico superior de um produto homogéneo resultante da sua combustão total (ensaio conjunto com o ensaio do forno ISO);
- Ensaio SBI, que se destina a avaliar diversos aspectos do desempenho ao fogo dos materiais quando submetidos à acção das chamas. Aspectos como a taxa de desenvolvimento do fogo (índice FIGRA), a taxa de desenvolvimento de fumo (índice SMOGRA), o calor total libertado e a produção total de fumo, a propagação lateral da chama, a ocorrência de queda de gotas ou partículas inflamadas e a duração das inflamações;
- Ensaio de ignitabilidade, (ensaio de pequena chama) que avalia a facilidade de ignição dum produto quando sujeito à incidência directa de uma pequena chama;
- Ensaio do painel radiante, que avalia o desempenho ao fogo de produtos destinados a revestimentos de piso. No ensaio, determina-se a propagação da chama num revestimento de piso quando sujeito a um gradiente térmico radiativo, complementado por uma chama piloto.

A classificação dos materiais ou produtos de construção é dada mediante o seu desempenho que possa influenciar a ignição dum fogo, a propagação do mesmo e a produção de fumo. Consoante os resultados destes cinco ensaios é então atribuída uma classificação ao produto ou sistema construtivo, a qual é seguidamente enumerada.

As classes de reacção de produtos de construção são atribuídas usando os seguintes símbolos: A1, A2, B, C, D, E, F. A produção de fumos e formação de gotas inflamadas é atribuída num classificação adicional s1, s2, s3 e d0, d1, d2 respectivamente. À classificação A1 e F não é atribuída nenhuma classificação adicional. Todas as outras classes incluem uma classificação adicional (ex: A2-s1, d0; B-s1, d2; etc.).

A1: Produtos que não contribuem de todo para o fogo;

A2: Produtos que não contribuem significativamente para o fogo;

B: Produtos que contribuem para o fogo numa extensão muito limitada;

C: Produtos que contribuem para o fogo numa extensão limitada;

D: Produtos que contribuem para o fogo numa extensão aceitável¹;

E: Produtos cuja reacção ao fogo é aceitável¹ num período de exposição pequeno a uma chama pequena;

F: Produtos que não têm reacção ao fogo determinada e que não podem ser classificados nas outras classes.

Classificação adicional:

s1: A produção de fumo é muito reduzida

s2: A produção de fumo é limitada

s3: A produção de fumo não satisfaz as exigências das classes s1 e s2

d0: Não ocorrem partículas ou gotículas inflamáveis;

d1: As partículas ou gotículas inflamáveis extinguem-se rapidamente;

d2: A formação de partículas ou gotículas inflamáveis não satisfaz as exigências das classes d0 e d1.

A classificação europeia de reacção ao fogo é actualmente obrigatória para os produtos sujeitos a marcação CE.

No panorama nacional, os materiais para os quais o Regulamento Técnico de Segurança Contra Incêndios em Edifícios impõe exigências de reacção ao fogo, devem possuir relatórios de classificação, emitidos pelo Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEC) ou por organismos acreditados no âmbito do Sistema Português da Qualidade (SPQ).

Em Portugal, a classificação não quantificava todos os parâmetros medidos nos ensaios europeus, como a produção de fumos ou queda de gotas ou partículas inflamadas. Estabeleceram-se tabelas que pretendem traduzir as exigências regulamentares até então em vigor (classes nacionais) para as novas classes europeias, mas a necessidade duma aproximação segura e as limitações referidas condicionam o uso destas tabelas.

¹ Este termo *aceitável* foi adaptado do regulamento de segurança contra incêndio em edifícios da Finlândia e segundo o qual foi retirado esta breve caracterização das classes de reacção ao fogo.

3.2 Resistência ao fogo dos elementos da construção

Em matéria de exigências de resistência ao fogo dos elementos construtivos (elementos estruturais, paredes, pavimentos, portas, etc.) para configurações correntes, o regulamento impõe exigências de resistência ao fogo para elementos de construção, baseados em relatórios de classificação, emitidos por organismos notificados ou acreditados no âmbito do SPQ.

A classificação de resistência ao fogo é estipulada consoante o tempo, em minutos, (de 30 a 180 minutos), durante o qual um determinado sistema construtivo mantém as características resistentes, em condições de fogo normalizado (ISO 834).

O sistema de classificação europeia de resistência ao fogo bem como todos os ensaios que devem ser aplicados aos vários elementos de construção está descrito em pormenor na norma europeia **EN 13501-2:2007** [11].

Esta norma europeia especifica os procedimentos para classificação de produtos e elementos construtivos através de dados retirados de ensaios de resistência ao fogo e emissão de fumo.

Enumeram-se agora as normas para alguns dos ensaios de resistência ao fogo:

- Elementos de capacidade portante com e sem função de corta-fogo (paredes, pisos, coberturas, elementos estruturais, vãos de escadas);
- Elementos sem capacidade portante (paredes, pisos, coberturas);
- Instalações de serviço;
- Elementos de cerramento de vãos (portas e janelas).

De um modo sucinto, as exigências são estabelecidas em termos dos parâmetros seguintes:

- R - capacidade de suporte de cargas;
- E - estanquidade à emissão de chamas e de gases quentes;
- I - isolamento térmico a temperaturas elevadas;
- W – radiação;
- M – acção mecânica;
- C – fecho automático;
- S – passagem de fumo;
- P ou PH – continuidade de fornecimento de energia;
- G – resistência ao fogo;
- K – capacidade de protecção contra fogo.

No entanto esta classificação destina-se a configurações correntes de elementos de construção, sendo que estes critérios de segurança, em termos de elaboração de paredes exteriores, são exigidos consoante o tipo de utilização do edifício, os locais de risco, bem como a altura deste e o tipo de elemento de construção (elementos estruturais, elementos da construção, etc.).

Para elaboração de paredes exteriores, além das exigências respeitantes à configuração dos elementos (como os troços de elementos da fachada ou diedros que possam existir no projecto, etc.), as exigências de resistência ao fogo só são exigidas para elementos salientes na fachada e para paredes exteriores em confronto com outros edifícios.

Assim sendo, a avaliação do comportamento ao fogo de paredes exteriores, em termos regulamentares, é qualificada em grande parte consoante a reacção ao fogo dos materiais de construção.

3.3 Curva ISO padrão Temperatura-tempo

Para um estudo do comportamento dos materiais num cenário simplificado de fogo é frequente usar-se como referência uma curva padrão representada por uma relação *temperatura-tempo*.

Esta curva de representação de um fogo normalizado e convencional, a curva ISO 834 [20], é usada em muitos países para definir o processo térmico normalizado a que são sujeitos os elementos de construção em termos de ensaios experimentais que permitem definir as classes de resistência ao fogo.

Um fogo real tem características que não são contempladas na curva ISO 834; contudo, esta curva pretende fornecer parâmetros de base para efeitos do estudo da resistência ao fogo ou para a elaboração de projecto. Para isso, submetem-se os elementos de construção a um regime térmico do qual se retiram curvas de incêndio “naturais” dos diferentes elementos e comparam-se com a curva padrão para uma análise geral do seu comportamento ao fogo.

Esta curva padrão é caracterizada por possuir apenas um ramo ascendente, admitindo que a temperatura dos gases é sempre crescente com o tempo, independentemente das características do ambiente e da quantidade de material combustível, fornecendo assim uma informação conservativa do comportamento ao fogo dos elementos de construção em estudo.

Contudo, quaisquer conclusões que tenham por base esta curva padrão devem ser cuidadosamente analisadas, pois não correspondem ao comportamento real do incêndio ou dos elementos de construção expostos ao fogo.

A figura 3.1 e 3.2 seguidamente apresentadas, representam respectivamente uma comparação entre uma curva ISO e 50 ensaios ao fogo em laboratório e uma comparação entre o comportamento real de um fogo em comparação com a curva ISO padrão [5].

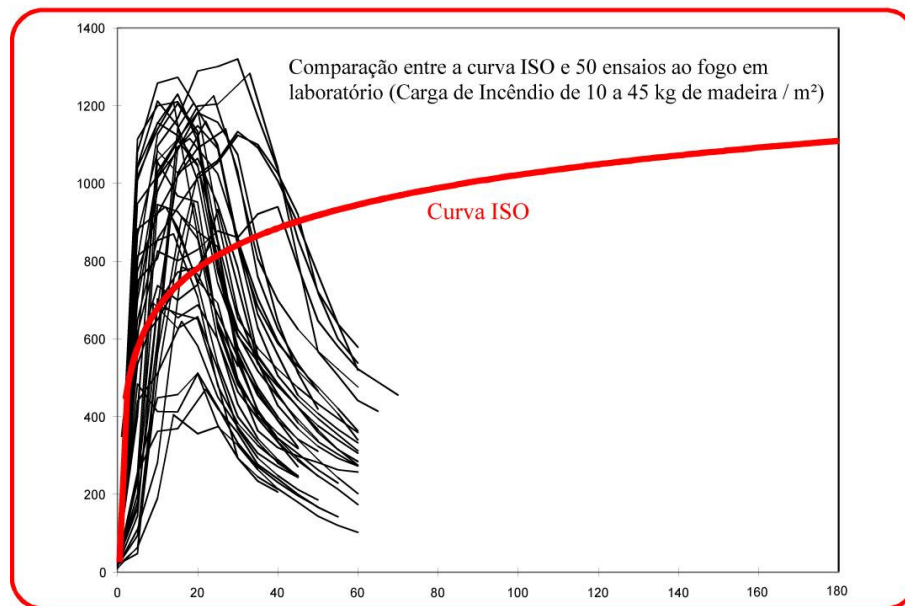


Figura 3.1 - Curva ISO Vs 50 ensaios ao fogo [5]

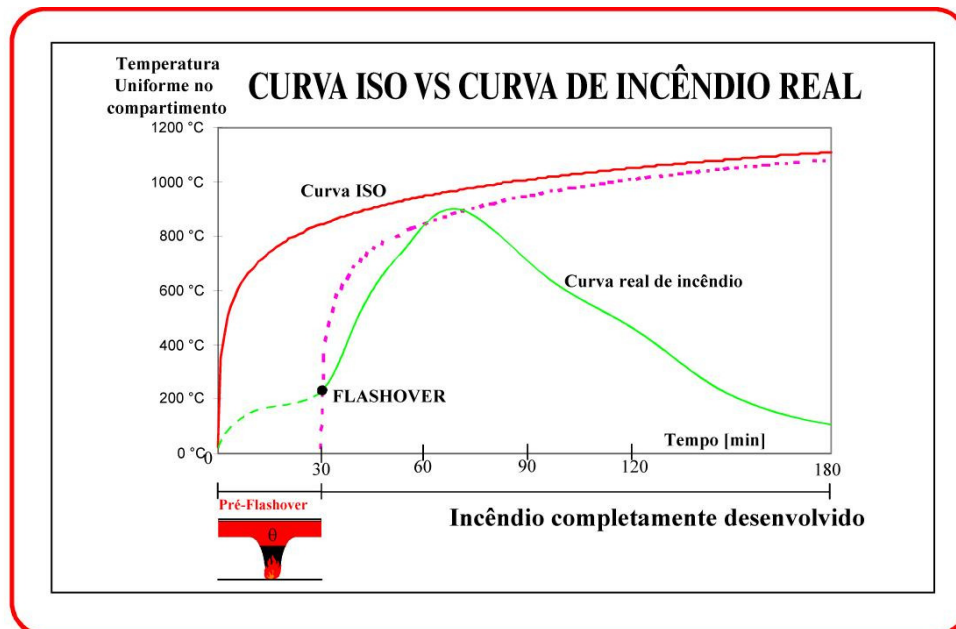


Figura 3.2 - Curva ISO Vs curva de incêndio real [5]

Parte II – Comportamento de sistemas de fachada ao fogo

4 Evolução da concepção de fachadas – Contextualização

A concepção de fachadas tem sofrido uma grande evolução, sobretudo nas últimas décadas, motivada pelo aparecimento de novos materiais e da crescente necessidade da optimização da eficiência energética, entre outras, nos edifícios (Figura 4.1). Esta evolução surge no sentido de reduzir substancialmente as perdas de energia para o exterior pela envolvente opaca dos edifícios, como uma das medidas a adoptar para melhorar o conforto térmico das construções.

No panorama nacional era usual a adopção de soluções construtivas de fachada em pano simples de alvenaria de tijolo ou de pedra natural. Na década de 60 começou-se a introduzir uma solução que se generalizou em todo o país, independente das diferentes realidades climáticas existentes no território, em que as paredes exteriores seriam constituídas por uma alvenaria dupla de tijolo.

No entanto, só a partir da década de 90, é que o uso das paredes duplas foi vulgarizado, assim como a prática de introdução dum isolante térmico no seu espaço de ar, com preenchimento total ou parcial.

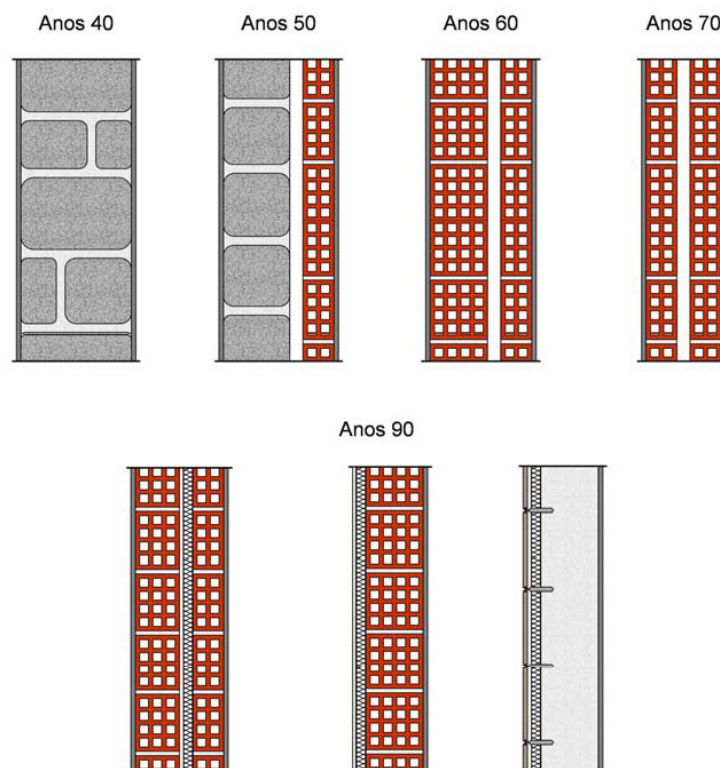


Figura 4.1 - Evolução das fachadas em Portugal [16]

A protecção dos elementos estruturais também foi uma medida adoptada para minimizar a ocorrência de condensações superficiais interiores localizadas nestes elementos através da aplicação de forras cerâmicas coladas nas superfícies exterior dos elementos estruturais.

Esta solução construtiva de parede dupla com isolamento térmico e a protecção térmica dos elementos estruturais, quando concebida adequadamente, era uma solução económica e funcional para grau de exigência térmica da altura.

Contudo, com a entrada em vigor da nova regulamentação de comportamento térmico de edifícios (RCCTE, 2006), bem como da regulamentação de certificação energética para edifícios (SCE, 2006), estas soluções de fachada deixam de ser satisfatórias em termos regulamentares. São soluções cujas perdas energéticas tomam valores muito acima das exigências máximas regulamentares, isto é, são soluções cujos coeficientes de transmissão térmica superficiais ultrapassam os valores máximos estipulados no Decreto-lei 80/2006.

Assim, esta aproximação aos valores máximos forçou que fossem encontradas soluções mais exigentes que promovessem o conforto térmico das fracções autónomas através dum controlo mais eficiente da temperatura ambiente interior.

A transmissão de energia entre o exterior e o interior é um factor preponderante no desempenho energético do edifício, seja qual for o sistema de climatização.

Uma solução viável assenta em melhorar o isolamento térmico da envolvente dos edifícios. O isolamento térmico reduz significativamente as trocas de calor interior/exterior e exterior/interior, contribuindo assim, de forma decisiva, para uma obtenção de conforto térmico mais eficaz. Por outro lado, e essencialmente pela mesma razão, o isolamento térmico contribui ainda para valores de temperaturas superficiais interiores mais próximos dos valores da temperatura ambiente interior, o que, por sua vez, reduz o risco de ocorrência de condensações superficiais interiores e conduz a melhores condições de conforto por via da temperatura radiante.

Tal como já acontecia com a anterior regulamentação térmica, os novos edifícios ou os edifícios em processo de reabilitação significativa, têm de ser integralmente revestidos com material isolante térmico; mas agora as pontes térmicas planas, isto é, a zona de vigas, de pilares, a zona do topo das lajes e as caixas de estore tem também de ser revestida [7].

Com o intuito de satisfazer as questões regulamentares, surgiram várias soluções que se adequam às exigências pretendidas. Apontam-se três vias para o reforço térmico, sendo elas a adaptação da fachada tradicional de parede dupla de alvenaria através do reforço do isolamento térmico na zona de ponte térmica plana, o reforço do isolante térmico no interior do edifício e o reforço do isolante térmico no exterior através da elaboração de soluções de sistemas de fachada.

No âmbito deste trabalho serão caracterizadas unicamente soluções de fachada com isolamento térmico pelo exterior.

Os sistemas com isolamento térmico pelo exterior são, de um modo geral, constituídos por uma camada de isolamento térmico aplicada sobre o suporte (a parede) e um revestimento exterior para protecção, em particular, das solicitações climáticas e mecânicas.

Este tipo de solução minimiza as trocas de calor com o exterior através da correcção completa das pontes térmicas planas, com consequente redução das necessidades de aquecimento/arrefecimento, através da preservação da inércia térmica interior do edifício e diminuição dos riscos de ocorrência de condensações.

A investigação ao nível destas soluções construtivas para paredes exteriores tem evoluído no sentido de soluções cada vez menos espessas e, por conseguinte, mais leves mas compostas por camadas cada vez mais específicas, de modo a responder às presentes exigências.

Dentro desta tendência de isolar os edifícios pelo exterior, surgiram novos tipos de solução aplicados correntemente em Portugal, das quais se evidenciam dois tipos: os sistemas compósitos sobre isolamento térmico que se denominam na Europa por *ETICS* (*External Thermal Insulation Composite Systems*) e sistemas de *Fachada Ventilada*, ambos caracterizados seguidamente.

4.1 Sistema ETICS

Este sistema é constituído por um elemento de suporte, que geralmente é uma parede de alvenaria ou de betão, à qual se fixam exteriormente as placas de isolamento térmico que, por sua vez, são revestidas por um reboco armado.

O isolamento térmico mais usado neste tipo de solução são placas de poliestireno expandido moldado (EPS), uns menos usuais neste tipo de solução são placas de poliestireno expandido extrudido (XPS), placas de lã de rocha e o aglomerado de cortiça expandida ou corticite. O isolamento térmico é aplicado através de um produto de colagem que se destina a fixá-lo, por aderência, ao elemento de suporte e, eventualmente também por fixadores mecânicos.

Sobre o isolamento coloca-se um produto primário, que se destina a preparar a aderência para a argamassa de reboco colocada em duas camadas, directamente sobre o isolamento térmico e na qual é incorporada uma malha de reforço.

A camada base consiste num revestimento (barramento) com poucos milímetros de espessura, realizado em várias passagens sobre o isolamento, de forma a permitir o completo recobrimento da armadura [16].

A malha de reforço confere resistência mecânica ao revestimento, cuja espessura, sempre muito reduzida, poderá variar ligeiramente conforme o nível de resistência ao impacto pretendido e deve ser reforçada em locais acessíveis de modo a resistir a acções mecânicas mais severas. Geralmente é usada uma malha de fibra de vidro com tratamento de protecção anti-alcalino ou de polipropileno.

A camada base é então revestida novamente por um produto primário, que consiste numa pintura opaca à base de resinas em solução aquosa que vai garantir a aderência entre a camada base e a camada de acabamento.

Como revestimento final (camada de acabamento) é normalmente usado um revestimento plástico de grande elasticidade geralmente à base de ligantes mistos (minerais e sintéticos), para um acabamento delgado. Podem, no entanto, ser utilizados outros revestimentos desde que convenientemente testados e especificados no documento de homologação do sistema.

A camada de acabamento contribui para a protecção do sistema contra agentes climáticos, assegura o aspecto decorativo e aumenta a durabilidade do sistema, havendo uma grande variedade de soluções de acabamento [16].

A fixação das placas de isolamento ao elemento de suporte pode ser por colagem ou fixação mecânica, sendo que um sistema misto (colagem e parafusos) constitui a solução de fixação mais indicada. Num sistema colado, a estabilidade é assegurada pela colagem mas é indicado utilizar fixações mecânicas complementares para prevenir a perfeita aderência do sistema e evitar a sua eventual queda em caso de descolagem. Estas fixações mecânicas destinam-se a fixar o isolamento térmico à estrutura de suporte até à secagem da cola e garantem também uma aderência uniforme, prevenindo a queda dos elementos em caso de descolagem do sistema. Devem ser aplicadas a todo sistema a começar na malha de reforço, passando pelo isolante térmico e a fixar no elemento de suporte [16].

Este sistema deve ainda ser provido de acessórios utilizados para reforço de pontos singulares como arestas e ligações entre elementos construtivos (vãos envidraçados, soleiras, coberturas, platibandas, etc.), assegurando a protecção e continuidade do sistema. Neste tipo de soluções, deve-se garantir a uniformidade e estanquidade do sistema, com uma atenção cuidada no remate do sistema com os elementos de cerramento de vãos de aberturas que possam existir,

de modo a manter protegidas as camadas interiores de acções mecânicas ou climáticas adversas.

Na figura 4.2 seguidamente apresentada, ilustra-se de um modo genérico este sistema de isolamento térmico pelo exterior.

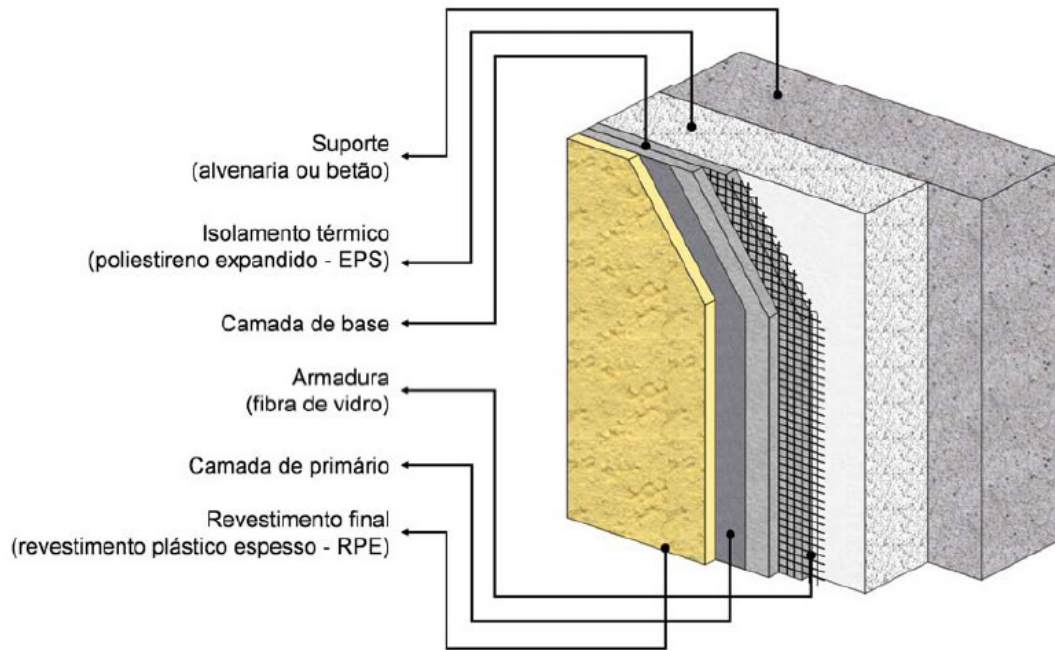


Figura 4.2 - Sistema de ETICS [16]

4.2 Sistema Fachada Ventilada

A fachada ventilada é um sistema de parede exterior composto por um elemento de suporte, geralmente uma parede de alvenaria ou de betão, ao qual se fixa uma estrutura de apoio, à qual é fixado o revestimento exterior, com interposição do isolamento térmico na caixa-de-ar, junto ao pano interior e sem contacto com o revestimento.

Considerou-se sistemas de Fachada Ventilada como o nome genérico para sistemas de revestimento aplicados de forma independente do suporte e, neste caso específico, sistemas com interposição de isolamento térmico no espaço de ar ventilado.

O revestimento independente pode ser descontínuo ou contínuo, sendo o primeiro fixado sucessivamente com juntas abertas e o segundo fixado com interposição por encaixe dos elementos com o cuidado de manter aberturas interrompidas entre os elementos da estrutura de apoio no topo superior e inferior do sistema de modo a garantir a ventilação do espaço de

ar. Existem no mercado uma grande variedade de produtos de revestimento, podendo-se evidenciar os revestimentos constituídos por pedra natural, aglomerados de pedra, cerâmicos, de vidro, de chapas à base de fibrocimento, placas metálicas, plásticas ou de outros produtos compostos derivados. O revestimento é fixado mecanicamente à estrutura de apoio e actua como uma barreira que protege o isolante e o paramento interior das acções climáticas exteriores, assegurando uma maior durabilidade dos materiais que compõem a envolvente exterior do edifício.

As placas de revestimento estão fixas à estrutura de apoio por encaixes metálicos que, por sua vez, está fixa ao elemento portante e deve permitir deformações para a absorção de tensões por dilatação e choques térmicos, incidência de ventos, etc. Esta estrutura garante o afastamento do revestimento em relação ao elemento de suporte estabelecendo-se uma caixa-de-ar entre os dois elementos e onde é incorporado o isolante junto à face externa do pano interior.

A estrutura de suporte é geralmente metálica podendo ser ainda de madeira, embora esta última opção seja mais complexa e menos viável devido à necessidade de manutenção frequente dos seus elementos constituintes.

O mais usual é ser uma estrutura metálica, de alumínio ou aço galvanizado, sendo os primeiros os mais predominantes devido ao seu peso relativamente reduzido e facilidade na manutenção. É composta geralmente por perfis horizontais ou verticais ancorados ao elemento de suporte, que por sua vez são travados por perfis verticais ou horizontais respectivamente onde as peças de revestimento são fixadas com sistemas de encaixe metálicos visíveis ou invisíveis e quaisquer dispositivos de fixação e de remate que sejam necessários.

O espaço de ar formado entre o revestimento e o isolante deve ser fortemente ventilado e de dimensões que variem entre os 5 e os 15 cm de espessura, contribuindo para a remoção da humidade existente nesse local proveniente da chuva ou formada por condensação. Por outro lado, e em condições de Verão, a ventilação contribui para reduzir a transmissão de calor para o interior. O confinamento de massas de ar a diferentes de temperaturas origina correntes de ar verticais como o resultado das diferenças de pressão respectivas. Deste modo, a ventilação natural na caixa-de-ar é contínua.

Os isolamentos térmicos mais comuns para este tipo de soluções são a espuma de poliuretano projectado (PUR) e a espuma de poliisocianurato projectado (PIR), o poliestireno expandido extrudido (XPS) e o poliestireno expandido moldado (EPS) em placas. Os produtos de origem

mineral, como a lã de rocha ou a lã de vidro, têm excelentes características para este tipo de solução mas, no entanto não são muito usuais em Portugal, apesar de serem usados com frequência nos países nórdicos europeus.

O isolamento térmico é fixado na caixa-de-ar, no paramento externo do elemento de suporte e é mantido em total contacto com a parede através das fixações da estrutura de suporte do revestimento exterior. Deve ser aplicado em camada contínua evitando assim a ocorrência de condensações internas e pontes térmicas, melhorando os níveis de qualidade e conforto do edifício.

Neste tipo de soluções devem-se reduzir as possibilidades de infiltração de água no sistema através da protecção e recobrimento dos seus topos superiores, laterais e inferiores, bem como dar atenção às ligações com peitoris, enquadramento com vãos e com outros elementos salientes, tendo o cuidado de executar juntas estanques.

Apesar de existir no mercado português um conjunto diverso de produtos que se enquadram nesta descrição, apenas se procedeu a uma caracterização genérica da solução construtiva.

Na figura 4.3 está ilustrado de um modo genérico este tipo de solução

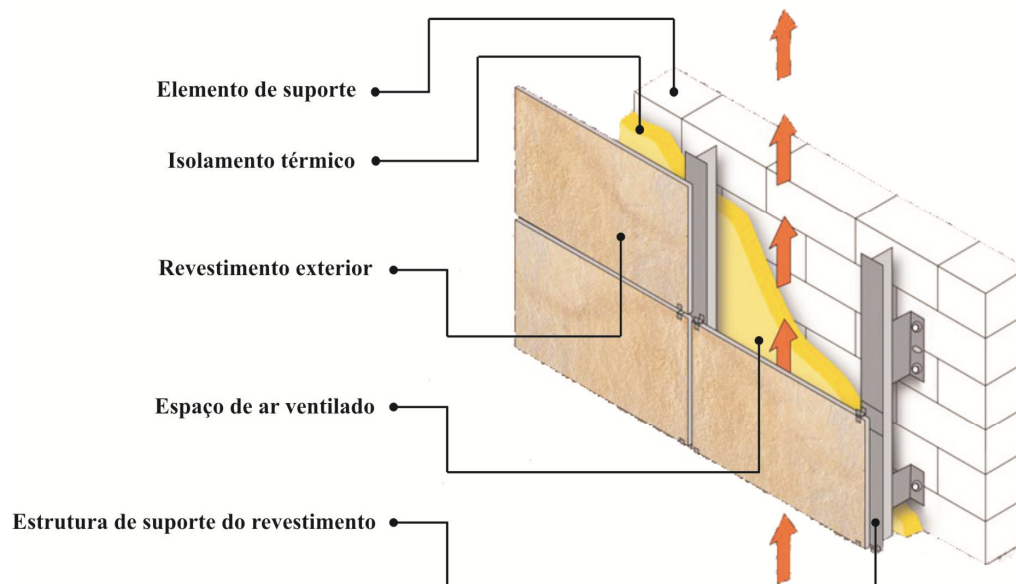


Figura 4.3 - Sistema de Fachada Ventilada

Tanto os sistemas de *ETICS* como as *Fachadas ventiladas* são sistemas não convencionais e deveriam estar sujeitos a uma apreciação técnica mais cuidada. Existem no mercado sistemas completos normalizados, com especificações técnicas complementares do sistema construtivo que variam de sistema para sistema. Neste trabalho procedeu-se unicamente à caracterização geral destas soluções de fachada.

4.3 Caracterização genérica dos materiais de sistemas de fachada não convencionais

O reforço térmico pelo exterior dos edifícios é uma solução construtiva eficiente e cada vez mais usada pelo que é importante saber qual vai ser a contribuição dos seus constituintes numa situação de incêndio.

De seguida será apresentado um conjunto de materiais mais usuais na elaboração de soluções de fachada com isolante térmico pelo exterior bem como será apresentado genericamente o seu comportamento ao fogo com base na informação existente que, deve referir-se, é muito limitada do ponto de vista técnico e científico. Esta apreciação tem como objectivo demonstrar as limitações na escolha dos materiais para este tipo de soluções, visto que as variações que possam existir nas classificações são consoante a percentagem utilizada das diferentes matérias-primas que variam de produto para produto.

Quaisquer atribuições de classes de reacção ao fogo são apresentadas com base em produtos do tipo genérico e não correspondem à totalidade dos produtos existentes no mercado. Esta menor profundidade de análise nos dados apresentados deve-se ao facto dos relatórios de ensaios experimentais do comportamento ao fogo dos produtos serem de carácter sigiloso o que impede o conhecimento exaustivo, no âmbito dum trabalho com estas características, do comportamento dos materiais, produtos e soluções construtivas existentes no mercado.

4.3.1 Materiais de revestimento exterior

Para os sistemas de *Fachada Ventilada* são usados tipicamente os seguintes materiais como revestimentos da envolvente exterior do edifício:

- Materiais cerâmicos geralmente em placas de dimensões variáveis normalizadas, compostos por matéria inorgânica à base de argila; têm um bom comportamento ao fogo pelo que na sua generalidade são da classe de reacção ao fogo A1;

- Pré-fabricados de betão em placas aplicados a um elemento de suporte ou como revestimento a uma estrutura de suporte, independente de qualquer enchimento de parede; têm também um bom comportamento ao fogo pois o betão é incombustível, pelo que na sua generalidade são da classe de reacção ao fogo A1.
- Placas de fibrocimento que também têm um comportamento ao fogo bastante razoável, pelo que conseguem atingir uma classe de reacção A2;
- Placas de pedra natural e aglomerados de pedra também em placas sendo os primeiros de características incombustíveis pelo que têm uma classe de reacção A1, ao passo que os segundos já são materiais compostos, que podem ter na sua composição ligantes orgânicos como resinas; dependendo da percentagem de composição, têm uma classe de reacção ao fogo que pode variar de B a E, consoante essa percentagem é menor ou maior, respectivamente;
- Painéis metálicos, perfis de chapa metálica que podem ser de aço, aço inoxidável, cobre, bronze ou alumínio, que na sua generalidade têm um bom comportamento ao fogo sendo que podem atingir classes de reacção A1 ou A2 e, nos casos de produtos metálicos termolacados, podem atingir a classe de reacção ao fogo B;
- Painéis compósitos com núcleo em espuma plástica, geralmente constituídos por duas placas de alumínio com um núcleo em polietileno, convenientemente rematados nas arestas das placas de modo a manter protegido o núcleo de material combustível, têm um comportamento ao fogo razoável.
- Placas de madeira tratada que podem ter um comportamento razoável ao fogo podendo atingir a classe de reacção D e, consoante o tratamento de protecção, podem até obter a classe de reacção ao fogo C;
- Vidro com uma variedade possível de formas e dimensões, simples, duplos e/ou resistentes ao fogo.

Em sistemas *ETICS* compostos por multicamadas (como é o caso em estudo), são usados tipicamente revestimentos armados espessos ou delgados de ligantes minerais ou mistos. A rede de reforço é em fibra metálica, fibra de vidro ou polimérica, revestida por um reboco de ligantes hidráulicos, geralmente à base de cimento com adjuvantes sintéticos, como resinas orgânicas que conferem ao revestimento resistência às variações dimensionais devidas às diferenças de temperatura (climatéricas). Assim, estes revestimentos têm um comportamento razoável ao fogo, pelo que podem ter uma classe de resistência ao fogo que pode variar de A a B consoante a percentagem de adjuvantes no composto.

4.3.2 Materiais de isolamento térmico

Os materiais seguidamente apresentados são usualmente usados em sistemas *ETICS* e para preenchimento parcial das caixas-de-ar de *Fachadas Ventiladas* e a sua principal característica é o isolamento térmico podendo, nalguns casos, pode ser necessário para o isolamento sonoro a ruídos de condução aérea. No entanto, no âmbito deste trabalho, são avaliados unicamente consoante o seu comportamento ao fogo.

➤ De origem Mineral/ Vegetal

São materiais naturais, inorgânicos e de origem mineral como a lã de rocha ou lã de vidro. A lã de rocha é constituída por fibras de lã de rocha aglutinadas com resina sintética termo-endurecida e é produzida geralmente em placas ou em mantas flexíveis com densidades que variam de 32 kg/m³ a 160 kg/m³ com pontos de fusão acima dos 1000°C. É um material incombustível, com um bom comportamento ao fogo pelo que, quando sujeita a altas temperaturas, amolece mas não arde. Geralmente, têm uma classe de reacção ao fogo A1 se o teor de resina for baixo. É bastante resistente e durável, no entanto a exposição à humidade pode diminuir o seu desempenho. É um material isolante térmico pelo que têm uma condutibilidade térmica útil reduzida, entre 0,040 W/ (m.°C) a 0,045 W/(m.°C) consoante a densidade do produto em questão [21].

A lã de vidro ou fibra de vidro é um entrelaçado de filamentos de vidro que permitem uma grande flexibilidade. Geralmente é produzida em mantas com densidades que variam de 10 kg/m³ a 100 kg/m³ com pontos de fusão acima dos 700°C e também é incombustível com um comportamento ao fogo bastante satisfatório, pelo que, em situações extremas de incêndio impede a propagação das chamas. Têm geralmente uma classe de reacção ao fogo entre A1 e A2. É um material com valores de condutibilidade térmica reduzida na ordem dos 0,040 W/ (m.°C) a 0,045 W/ (m.°C), pelo que é um bom isolante térmico [21].

➤ De síntese – Termo rígidos (termo endurecidos)

São materiais poliméricos de origem orgânica que sofrem um aquecimento ou uma reacção química irreversível em que são feitas ligações permanentes entre as correntes moleculares do material. São materiais alveolares que, em produção industrial controlada, podem ter células fechadas resultantes da reacção entre os poli-isocianatos e os polióis na presença dum agente de expansão. Tipicamente, são produzidos pelo aquecimento das matérias-primas líquidas ou em pó num molde, onde posteriormente endurecem até à sua forma rígida. São materiais que

não podem ser remoldados ou reprocessados após a formação térmica inicial. Têm a vantagem de manterem a sua resistência e forma mesmo depois de aquecidos nos limites das suas temperaturas de ignição. Quando entram em contacto com o fogo, vão manter a sua estrutura até ser atingida a temperatura de ignição. Ao atingirem essa temperatura, que geralmente é acima dos 300°C, decompõem-se, libertando gases inflamáveis até ocorrer o *flashover* do material, entrando em combustão. São, na sua maioria, materiais combustíveis, pelo que vão arder e carbonizar com muita facilidade, quando em contacto directo com as chamas mas não derretem nem formam gotas inflamáveis, como é o caso dos termoplásticos.

O material termo rígido mais comum usado para estes tipos de solução é a espuma rígida de poli-isocianurato (PIR), aplicada em placas.

Outro tipo de solução isolante, em franca expansão no mercado português, é a espuma de poliuretano projectado (PUR). Neste caso, a camada isolante é obtida por projecção de uma espuma que resulta da reacção de dois componentes, geralmente poliol e isocianato, extraídos das matérias primas do petróleo e do açúcar através dum processo químico de transformação.

Deve notar-se que as propriedades dos poliuretanos projectados em construção civil são condicionadas de forma muito significativa pelo processo de aplicação, cujo controlo de qualidade é naturalmente consideravelmente mais complexo do que em condições de processos industriais. Deste modo, há que abordar com reservas as características em serviço deste tipo de solução de isolamento térmico.

Ambos os isolantes encontram-se no mercado numa gama de produtos com densidades que variam dos 30 a 60 kg/m³. Os poliisocianuratos têm propriedades mecânicas superiores e um melhor comportamento ao fogo quando comparados com os poliuretanos.

Tanto os PUR como os PIR são excelentes isolantes térmicos uma vez que têm valores de condutibilidade térmica na ordem dos 0,03 W/(m.°C) [21]. No entanto, o PUR tem um pior comportamento ao fogo, pelo que dificilmente obtém uma classe de reacção melhor que um E, ao passo que o PIR pode ser da classe B ou C consoante a percentagem de isocianurato.

É muito comum ver-se o poliuretano projectado em soluções de fachada ventilada no preenchimento parcial da caixa-de-ar, pelo que o seu uso em edifícios de grande altura deve ser limitado ou deve ser sujeito a uma apreciação técnica cuidada. O uso seguro deste tipo de isolamento implica um produto em que se adicionou um retardador de chama e foi protegido por uma película de material incombustível, como uma película de gesso.

No entanto, o uso deste tipo de materiais devidamente protegidos não é uma solução económica, pelo que muitas vezes é usado sem se ter em conta os riscos de incêndios inerentes ao uso dum material combustível desprotegido.

➤ De síntese - Termoplásticos

São materiais polímeros de origem orgânica obtidos por moldagem ou extrusão de uma resina termoplástica de síntese, o estireno, derivado do benzeno. A característica que difere um termoplástico dum termo rígido é que o termoplástico pode ser reaquecido e remoldado. Quando em contacto com as altas temperaturas dum incêndio, têm tendência a derreter, formando gotículas incandescentes, que podem proporcionar uma rápida propagação do mesmo a zonas distantes do foco inicial.

Os materiais termoplásticos mais comuns nestes tipos de soluções são o poliestireno expandido moldado (EPS) e o poliestireno expandido extrudido (XPS). Estes materiais têm normalmente o ponto de amolecimento aos 100°C e ponto de fusão na ordem dos 180°C. Note-se, no entanto, que a consulta a informação comercial dos diversos fabricantes indica frequentemente temperaturas de serviço na ordem dos 70 °C.

Tanto o EPS como o XPS são excelentes isolantes térmicos, tendo respectivamente uma condutibilidade térmica de 0,040 W/(m.°C) e 0,035 W/(m.°C) e densidades de 15-40 kg/m³ e 30-40 kg/m³ [21], respectivamente (valores dos materiais indicados para aplicação em paredes).

Estes materiais são combustíveis, pelo que dificilmente atingem uma classe de reacção ao fogo melhor que um E, quando o material é ignifugado, e um F, quando não é ignifugado.

5 Propagação do incêndio pelas fachadas

Na perspectiva da segurança contra incêndio, os sistemas de isolamento térmico pelo exterior podem criar situações em que o risco de deflagração e propagação dum incêndio seja elevado. Os riscos podem estar associados, por exemplo, à utilização de isolamentos térmicos com um mau desempenho de reacção ao fogo, inexistência de barreiras à propagação do fogo no espaço de ar de fachadas ventiladas, o envolvimento de empenas no incêndio que possa afectar um edifício próximo, a utilização de maiores espessuras de isolantes térmicos combustíveis, entre outros que serão analisados com pormenor mais adiante neste trabalho.

Tendo em conta que a actual regulamentação não contempla medidas para a generalidade destes sistemas e dos respectivos componentes, o intuito deste trabalho é analisar o comportamento, sob o contexto da segurança contra incêndio, destes tipos de soluções de paredes exteriores.

A propagação de um incêndio, pelo exterior, através dos revestimentos de fachada, aos pisos superiores do edifício é uma situação bastante corrente.

Os incêndios em fachadas geralmente não ameaçam a vida dos ocupantes dos edifícios mas existe o risco de um incêndio se propagar a níveis superiores através das aberturas, resultando em focos de incêndio secundários, e isso sim, pode colocar em risco a vida dos ocupantes.

Os edifícios não devem permitir que ocorra uma excessiva propagação vertical dum incêndio pelas fachadas de modo a que o fogo não se propague a pisos superiores e atinja alturas em que a intervenção dos bombeiros seja ineficaz ou impossível.

Sendo os elementos exteriores de um edifício um meio de propagação fácil, é de extrema importância elaborar soluções de fachada segundo critérios que visem diminuir esse risco de propagação.

5.1 Mecanismo de propagação do incêndio em fachadas

Um incêndio numa fachada pode ter origem num fogo que se tenha deflagrado dentro dum compartimento dum edifício ou devido a um fogo externo nas proximidades do edifício, como um contentor de resíduos a arder ou fogo posto.

De um ponto de vista tradicional, as fachadas devem ser constituídas por materiais incombustíveis. Contudo esta é uma exigência desactualizada pois com o desenvolver das tecnologias de construção e com o uso doutros materiais e compósitos que possam ter vantagens mais significativas (como a conservação de energia), os riscos são assim aumentados, requerendo uma análise e escolha mais cuidada, por parte dos projectistas, dos sistemas construtivos não convencionais e como devem ser aplicados.

Na construção tradicional, nomeadamente as paredes de alvenaria ou de betão, os riscos são reduzidos, pois são, na sua generalidade, construídas com materiais não combustíveis ou de combustibilidade reduzida, cujo comportamento ao fogo não contribui para a deflagração ou a propagação dum incêndio.

A atenção volta-se para os sistemas de fachada não convencionais, nomeadamente soluções de fachada com isolamento térmico pelo exterior que, como já foi referido, são soluções que têm tido uma procura crescente, quer em construção nova quer em reabilitação de edifícios, devido às suas características conhecidas como a optimização energética.

Nas fachadas de construção tradicional, as exigências eram garantidas num sistema que funciona como um todo, onde o comportamento do revestimento exterior tem de ser tal que o fogo não consiga penetrar para os elementos adjacentes. Nas fachadas não-tradicionais, os elementos interiores duma parede, por exemplo, vão ter um papel preponderante no desenvolvimento dum incêndio pelo exterior dum edifício.

Neste cenário, existem dois mecanismos principais de propagação do incêndio, os quais são apresentados seguidamente com os respectivos riscos a ter em conta:

- Propagação sem a contribuição do sistema de parede exterior e que ocorre directamente pelas aberturas existentes no edifício;
- Propagação envolvendo o sistema de parede exterior que pode ocorrer superficialmente com a contribuição da superfície da fachada e/ou por dentro do sistema, através da queima do isolamento, da estrutura de suporte do revestimento exterior e/ou pelas caixas-de-ar.

Num incêndio que ocorra numa parede exterior existe ainda o risco de propagação deste a um edifício adjacente através de calor radiante e da convecção térmica. No entanto, este cenário não será apresentado visto que este mecanismo de propagação é devidamente considerado na aplicação do regulamento de segurança contra incêndios em edifícios.

A figura 5.1 (pag. 58) ilustra os mecanismos de propagação dum incêndio no exterior dum edifício.

Tomamos em consideração um incêndio que se deflagrou dentro dum compartimento duma fracção autónoma dum edifício.

O incêndio que se deflagrou no compartimento, se não houver nenhuma intervenção directa sobre este, pode evoluir até ao *flashover* e atingir a fase em que está totalmente desenvolvido.

Numa configuração normal genérica, os compartimentos são providos de aberturas, nomeadamente na fachada, que sendo a via de fuga das chamas e dos gases quentes, transferem energia por convecção e radiação a outras zonas exteriores do edifício, criando um mecanismo de propagação vertical do incêndio.

Rápida Propagação de Incêndio

O sistema de revestimento contribui na propagação da chama, potenciando o risco de ocorrência de fogos secundários nos pisos restantes, em simultâneo.

Restrita Propagação de Incêndio

O sistema de revestimento não contribui na propagação da chama. O risco de ocorrência de fogos secundários é limitado.

Se o sistema de revestimento contribuir na propagação da chama, há um risco acrescido de ocorrência de fogos de incêndio secundários em todos os pisos.

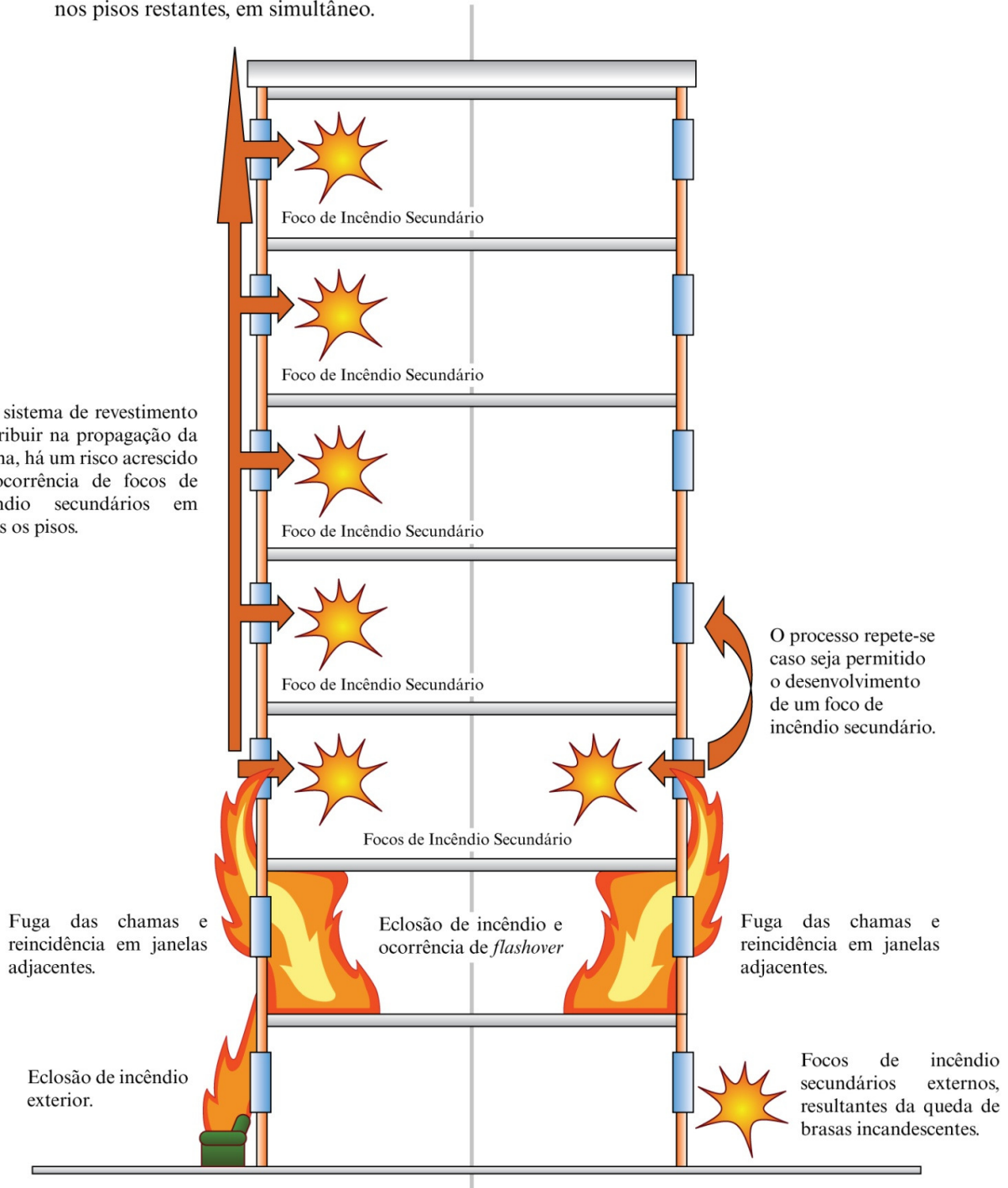


Figura 5.1 - Mecanismo de propagação de Incêndio em fachadas [14]

Caso as aberturas existentes estejam enclausuradas, as altas temperaturas e a diferença de pressão entre o interior e o exterior vão provocar uma quebra dos vidros numa fase pós-flashover, criando um meio por onde as chamas e os gases quentes são transmitidos para o exterior.

As chamas ao saírem pelas aberturas tipicamente estendem-se dois metros acima do topo da abertura, independentemente dos materiais usados na construção da face exterior do edifício. O comportamento das chamas é um factor importante no delinear da propagação do incêndio e é independente dos cenários de risco seguidamente apresentados. Através da realização de ensaios [12] verificou-se que, ao saírem pelas aberturas, as chamas não se afastam da fachada mas sim têm tendência a encurvar, formando um arco e penetrando novamente no edifício através de qualquer abertura existente na fachada (figura 5.2).



Figura 5.2 - Fuga das chamas dum compartimento dum edifício de alvenaria numa fase pós-flashover [14]

Verificou-se que as chamas além da projecção vertical podem ter também uma projecção horizontal, tendo efeitos opostos no mecanismo de propagação do incêndio. As projecções horizontais deflectem as chamas provenientes das aberturas num piso inferior suprimindo a propagação do fogo a janelas de pisos superiores, ao passo que as projecções verticais canalizam as chamas a pisos superiores acentuando a propagação vertical do fogo.

Em determinadas condições, como a incidência de vento, as chamas podem inclusivamente assumir um comportamento de propagação segundo um plano normal ao plano da parede [1].

De seguida, serão caracterizados genericamente os riscos de propagação de chama associados aos dois mecanismos previamente identificados.

Começando pelo cenário em que não vai haver contribuição do sistema de parede exterior para a propagação das chamas, tomando os casos para efeito de estudo como cenários isolados, em que a propagação do incêndio dá-se directamente pelas aberturas dum piso inferior a um piso superior, resultando num foco de incêndio secundário. Como já foi referido, é com facilidade que as chamas atingem os vãos envidraçados sendo que na maioria das situações, salvo aquelas em que haja vãos envidraçados bem como caixilharias com uma adequada comportamento ao fogo, vai haver uma quebra destes devidas às altas temperaturas. A propagação do fogo neste cenário resulta da reentrada, em pisos superiores, das chamas expelidas por uma abertura do compartimento em combustão. Os materiais existentes nas imediações da abertura superior correm o risco de inflamarem devido ao calor intenso das chamas projectadas pela abertura do piso inferior, como é o caso de cortinas, caixas de estore (por exemplo de madeira ou PVC) bem como quaisquer outros materiais combustíveis que possam existir.

Assim, havendo ou não contribuição das superfícies ou dos elementos construtivos para o incêndio e sendo as aberturas existentes na construção um meio fácil por onde as chamas podem penetrar em outras zonas do edifício, é a intensidade do incêndio, a acção dos ventos incidentes e a reacção ao fogo das caixilharias, elementos de sombreamento e vãos envidraçados, que vão condicionar a reentrada das chamas a compartimentos de pisos superiores.

Num segundo cenário, em que a propagação do incêndio ocorre envolvendo o sistema de parede exterior, existe um risco crescente de propagação do fogo pelo exterior com a contribuição dos materiais constituintes das várias camadas da parede, nomeadamente os materiais de isolamento térmico usados em soluções não tradicionais, que na sua maioria são combustíveis, como já foi referido.

Uma vez que as chamas entrem em contacto com os elementos construtivos duma parede exterior, quer seja duma fonte interna ou externa, existe o risco de interacção dos elementos construtivos com o fogo envolvendo o sistema de fachada no incêndio, contribuindo assim

para a propagação vertical do incêndio no edifício. Essa propagação pode dar-se pela superfície do sistema e/ou por qualquer cavidade que exista.

É nesta fase de desenvolvimento do incêndio que o comportamento ao fogo dos sistemas de revestimento exterior, incluindo quaisquer barreiras ao fogo que possam existir, toma uma importância crítica. Numa propagação superficial, as características de reacção ao fogo dos materiais usados na solução construtiva vão directamente influenciar a propagação vertical pela superfície do sistema.

Caso o sistema de revestimento exterior tenha características combustíveis ou tenha um mau comportamento sob acções térmicas violentas, pode dar-se a ignição de alguns materiais constituintes desse sistema quer por acção directa das chamas, quer por condução de calor através dos diferentes substratos do sistema.

A propagação e o desenvolvimento da chama num material são determinados pela resposta térmica do material a uma distribuição do fluxo de calor. Pode assim afirmar-se que é o poder calorífico do material e o comportamento deste ao fogo (especialmente a classe de reacção ao fogo) que vai influenciar o desenvolvimento do incêndio.

Quanto à propagação das chamas em cavidades, esta pode ocorrer em espaços de ar que possam existir no sistema ou que se formem devido à delaminação ou movimento diferencial do sistema devido ao fogo. Se as chamas forem confinadas ou restringidas por entrarem numa cavidade no sistema de parede exterior, vão alongar à medida que procuram oxigénio e combustível para suportar o processo de combustão. Novamente estamos perante o *efeito chaminé* (figura 5.3). Os gases quentes inflamáveis provenientes da combustão penetram na cavidade e vão encontrar uma camada de ar mais frio e, por serem menos densos (porque a temperaturas superiores), vão subir na cavidade, criando uma corrente vertical convectiva o que pode originar uma extensão das chamas de cinco a dez vezes o seu tamanho original, independentemente dos materiais que se possam encontrar na cavidade [14]. Este fenómeno pode permitir que o fogo se propague oculta e rapidamente, por trás do revestimento exterior, caso não estejam instaladas barreiras corta-fogo, resultando em danos severos no interior do sistema.

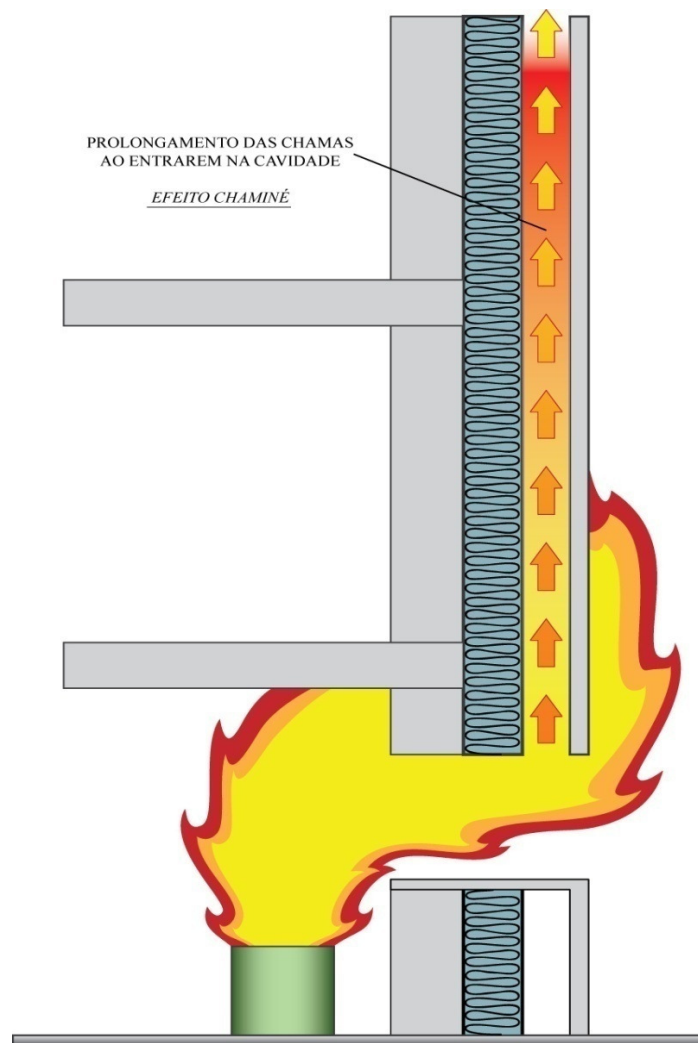


Figura 5.3 - Propagação do incêndio em cavidades [14]

No caso concreto do sistema de fachada ventilada, a ventilação natural do espaço de ar, que em termos de utilização é um factor benéfico do sistema, constitui em termos de segurança contra incêndio, um factor de risco acrescido de propagação do mesmo.

De notar que ambos os cenários de propagação do incêndio podem ocorrer em simultâneo, sendo que no cenário em que ocorre uma propagação do incêndio envolvendo o sistema de parede exterior, a preocupação foca-se nos comportamentos dos materiais constituintes das soluções de fachada em análise neste trabalho, nomeadamente os sistemas *ETICS* e as *Fachadas Ventiladas*.

5.2 Histórico de incêndios que se desenvolveram pelo exterior de edifícios

Existem poucos registos de incêndios em que tenha ocorrido uma extensiva propagação vertical em paredes exteriores de edifícios envolvendo revestimentos combustíveis. Em parte, isto deve-se ao facto de, tradicionalmente, os regulamentos de edifícios imporem o uso de materiais não combustíveis em fachadas ou limitarem o uso de materiais combustíveis a edifícios de reduzida altura; por outro lado, não é com facilidade que se distingue, em situação de incêndio generalizado, qual a verdadeira contribuição duma parede com características combustíveis.

Contudo, os casos que serão seguidamente apresentados, servem para ilustrar os riscos inerentes em soluções de carácter não tradicional, nos quais as características dos sistemas de revestimento exterior contribuíram para a propagação vertical do incêndio.

Edifício de apartamentos, Winnipeg Canada (1990) [12]

Este foi um incêndio que ocorreu num edifício de apartamentos de oito pisos com uma garagem exterior no piso térreo. As paredes exteriores eram compostas por um sistema ETICS. O fogo teve origem na garagem e rapidamente envolveu os 25 veículos que se encontravam estacionados no local. As chamas provenientes da garagem foram expostas e inflamou o sistema ETICS nas paredes exteriores e o incêndio propagou-se verticalmente pela fachada até ao topo do quarto piso. Marcas deixadas numa secção específica da parede composta por um revestimento tradicional não combustível indicavam que o fogo não tinha ido além do topo do segundo piso nessa porção independente do ETICS.

Depois do incêndio, havia vestígios consideráveis de que tinha ocorrido uma propagação do incêndio pelo sistema ETICS, com a contribuição deste. O isolamento térmico EPS tinha uma espessura de 100 mm e em algumas zonas do sistema ETICS, como os encontros entre a estrutura (pilares e vigas) e as paredes de preenchimento, o EPS tinha 140 mm de espessura. Devido às acções térmicas do incêndio por condução de calor, em algumas zonas ocorreu a decomposição do EPS, que derreteu, criando um espaço de ar entre o reboco armado e o elemento de suporte. Este espaço criou um “efeito chaminé” e, devido à cedência por fissuração do reboco armado, o incêndio propagou-se envolvendo o sistema ETICS. O calor então emitido pela parede em chamas foi suficiente para que a destruição continuasse, causando danos severos na construção [12].

Edifício de apartamentos, Knowsley Heights, Liverpool (1991) [13]

O incêndio ocorreu num edifício de apartamentos com onze pisos. Teve origem num contentor de borracha a arder no exterior do edifício ao nível do piso térreo. As paredes exteriores eram compostas por um elemento de suporte em betão revestido por pintura e recentemente tinha sido instalado um revestimento de fachada cortina (de combustibilidade limitada). O fogo propagou-se rapidamente pelo espaço de ar com 90 mm de espessura existente entre a parede de betão e a fachada cortina e atingiu o último piso do edifício, danificando severamente as paredes exteriores e as janelas de todos os pisos superiores do edifício (figura 5.4). Acredita-se que rápida propagação foi causada pela ausência de barreiras corta-fogo no espaço de ar do sistema, o que permitiu a rápida subida dos gases quentes inflamáveis devido ao “efeito chaminé” [13].



Figura 5.4 - Edifício de apartamentos, Liverpool [13]

Edifício de apartamentos, Munique (1996) [13]

Este era um edifício de cinco pisos de apartamentos em Munique. A fachada do edifício era constituída por um sistema compósito de isolamento térmico (ETICS) com 100 mm de espessura com placas de isolamento em poliestireno expandido moldado (EPS) revestido por um reboco armado de ligantes mistos. O fogo teve origem num contentor de borracha que se encontrava nas imediações e inflamou o revestimento o que causou danos extensivos à fachada do edifício (figura 5.5). As chamas propagaram-se aos compartimentos dos pisos superiores através de janelas quebradas [13].



Figura 5.5 - Edifício de apartamentos, Munique [13]

Te Papa (Museu da Nova Zelândia), Wellington (1997) [13]

Este era um edifício multi-pisos do museu nacional localizado em Wellington. O revestimento exterior usado foi painéis de alumínio com núcleo em polietileno, montado sobre placas de espuma de poliestireno expandido extrudido (XPS) revestido por uma película de pasta de papel com espaço de ar ventilado (Fachada Ventilada).

O incêndio ocorreu durante a construção do edifício quando um trabalhador procedia à aplicação duma membrana betuminosa na cobertura, tendo acidentalmente incendiado a película de papel que protegia o XPS e o fogo propagou-se a todo o sistema de fachada envolvendo tanto o isolamento térmico como os painéis de revestimento (figura 5.6), causando danos severos na construção. Não houve mortes ou feridos associados ao incêndio [13].



Figura 5.6 - Museu da Nova Zelândia, Wellington [13]

Edifício de Apartamentos, Irvine, Escócia (1999) [13]

Este foi um incêndio que ocorreu num edifício multifamiliar com treze pisos na Escócia. O fogo teve origem num apartamento no quinto piso, irrompeu pelas janelas e rapidamente se propagou verticalmente para cima pela face exterior do edifício, envolvendo os nove pisos superiores em minutos. O edifício era em construção de betão e tinha na sua altura total unidades compostas de janelas que compreendiam um painel de plástico reforçado com fibra de vidro (Glass Reinforced Plastic, GRP) por debaixo das janelas e caixilharias em PVC. O fogo inflamou os painéis de GRP e propagou-se verticalmente (figura 5.7). O comportamento do revestimento de parede teve um papel preponderante na propagação do incêndio. Ocorreu uma morte devida a este incidente, no apartamento de origem do incêndio, pelo que se pode concluir que os componentes combustíveis da janela não contribuíram para esta morte. Contudo, a rápida propagação do incêndio causou danos severos na parede exterior do edifício [13].



Figura 5.7 - Edifício de Apartamentos, Escócia [14]

Edifício de Apartamentos, Gaia, Portugal (2008) [22]

Incêndio que ocorreu num edifício de apartamentos com oito pisos. As paredes exteriores do edifício eram compostas por um sistema de Fachada Ventilada composta por um elemento resistente de suporte, isolamento térmico composto por poliuretano projectado (PUR), uma estrutura de suporte metálica fixa ao elemento de suporte na qual assentavam uns painéis compósitos de alumínio com núcleo em espuma plástica combustível. O fogo teve origem num compartimento no quinto piso onde irrompeu pelas janelas e atingiu o sistema de fachada. Devido às altas temperaturas, alguns painéis de revestimento cederam nas zonas de remate, permitindo que o fogo alcançasse o núcleo combustível (possivelmente em polietileno) o qual derreteu e entrou em combustão criando um cenário de incêndio generalizado a todo o revestimento exterior no qual se verificava o material plástico do núcleo a arder e a libertar gotas inflamáveis. Essas gotas foram responsáveis pela propagação do fogo abaixo do piso de origem. Em adição à combustão do revestimento exterior, o fogo alcançou a caixa-de-ar ventilada onde encontrou um material termoplástico combustível que também entrou em combustão ardendo e carbonizando, generalizando-se a todo o espaço de ar devido ao *efeito chaminé*. Neste caso, não houve baixas humanas devido à intervenção rápida dos bombeiros; contudo, a contribuição tanto do revestimento exterior como do isolamento térmico causaram danos de grandes dimensões em quase toda a extensão da parede exterior do edifício (figura 5.8).



Figura 5.8 - Edifício de Apartamentos, Portugal [22]

6 Análise de casos de estudo

No seguimento da ocorrência de incêndios cuja propagação se pensa ter ocorrido com a contribuição dos sistemas de revestimento das paredes exteriores têm sido levantadas questões por órgãos reguladores de vários países e segundo as quais foram feitos estudos no sentido de perceber os riscos de incêndio acrescidos no uso de soluções de fachada não convencionais.

Estes estudos realizados tinham o objectivo de avaliar a contribuição para o fogo de sistemas de revestimento de paredes exteriores e investigar o risco potencial de propagação dum incêndio nesses sistemas, nomeadamente em soluções com isolamento térmico pelo exterior.

Seguidamente, serão apresentados dois estudos segundo os quais foi possível, através da análise de ensaios neles apresentados, tirar conclusões sobre o comportamento deste tipo de sistemas num cenário de incêndio.

Numa primeira instância, os ensaios de desempenho ao fogo eram realizados em amostras de dimensões reduzidas pelo que se percebeu que não era produzido um cenário de incêndio equivalente a um fogo real.

A necessidade de analisar o desempenho de sistemas não convencionais compósitos com uma maior aproximação da realidade conduziu a que fossem realizados ensaios de larga escala através dos quais foi possível observar as patologias associadas a estes sistemas de fachada quando sujeitos à acção directa das chamas e das altas temperaturas sentidas num cenário de incêndio.

Um primeiro estudo em análise está relacionado com o desempenho de sistemas do tipo ETICS usando diferentes espessuras de isolamento. Este estudo surgiu no seguimento do incêndio que ocorreu em Winnipeg no Canadá, num edifício de apartamentos em que se usaram grandes espessuras de isolamento térmico, e pretendia quantificar a contribuição duma maior ou menor espessura de isolamento térmico em sistemas ETICS.

O estudo em causa - *“Discussion Paper on the Fire Performance of Exterior Insulation and Finish Systems using Different Thicknesses of Expanded Polystyrene by Schafer, B.L.”* [15] – Apresenta dois ensaios os quais estão descritos seguidamente de forma sucinta.

O primeiro ensaio foi elaborado pela “FACTORY MUTUAL RESEARCH CORPORATION” em que se criou um teste de canto constituído por uma parede de 10,7 m de altura, 15,7 m de largura para um lado e 12,0 m de largura para outro. A amostra era composta por uma parede de suporte resistente, uma camada de EPS com 25 mm de espessura e um revestimento de reboco

armado. O fogo foi simulado através duma estrutura de madeira a arder na base da amostra. Ao fim de 15 minutos, o fogo atingiu o seu pico. A temperatura máxima na parte exposta da parede foi de 870 °C, atingida ao fim de 7 minutos e 20 segundos e ocorreu 2,4 m acima do foco de incêndio. Depois do ensaio, verificou-se que o reboco à base de cimento armado com fibra de vidro resistiu quando sujeito a esta temperatura apresentando uma ligeira dilatação; contudo, o EPS, que se encontrava por baixo, tinha derretido quase totalmente, criando um espaço de ar por trás do sistema.

Depois de removido todo o revestimento, verificou-se que o EPS também se encontrava danificado nas zonas onde o fogo tinha atingido os 150 °C. Isto observou-se numa faixa junto ao tecto, com 10 metros de largura, e numa faixa junto ao pavimento, com 3 metros de largura.

Assim, pode-se concluir que, num sistema ETICS, a camada de isolamento vai decompor-se devido ao calor transmitido por condução através do revestimento exterior, não sendo preciso estar exposto directamente à acção das chamas, criando um espaço de ar entre o elemento de suporte e o revestimento exterior. Este espaço de ar pode-se estender em toda a extensão da parede criando uma via por onde as chamas e os gases quentes inflamáveis podem penetrar por detrás do sistema, potenciando a propagação do incêndio a zonas muito afastadas do foco inicial [15].

O segundo ensaio foi elaborado pela Universidade da Califórnia em Berkeley pelo Departamento de Fogo, Estruturas e Materiais. Foram criadas duas amostras a serem testadas, compostas por placas de EPS com 200 mm de espessura fixas a um elemento de suporte e revestidas por um reboco armado. Os painéis de ensaio tinham três metros de altura e dois metros de largura, em que uma das amostras tinha uma abertura no sistema a 610 mm da base (com 610 mm de largura e 100 mm de altura) expondo o EPS directamente às chamas, ao passo que, na segunda amostra, o revestimento foi deixado intacto sobre o EPS.

O foco de incêndio foi criado num ensaio ASTM E108 (Ensaio ao Fogo nos EUA) e foi terminado ao fim de 15 minutos.

Em ambas as amostras, o EPS derreteu criando um espaço de ar entre o elemento de suporte e o revestimento exterior (figura 6.1). No caso da amostra com abertura, a temperatura máxima atingida na superfície foi de 850 °C e foi atingida a 7,10 m da base. No outro cenário (sem abertura), a temperatura máxima atingida na superfície foi de 725 °C.

Na figura seguinte estão demonstrados os danos provocados no EPS, na qual se denota que, no caso onde o EPS teve em contacto directo com as chamas, os danos foram mais severos.

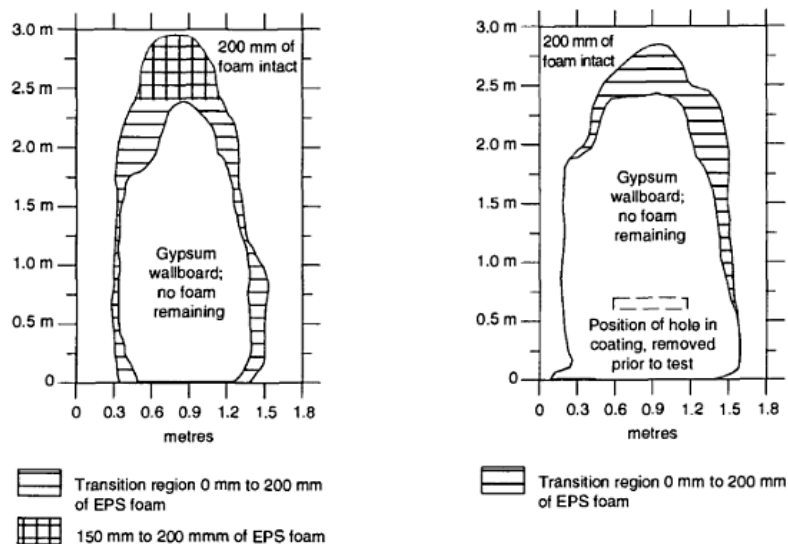


Figura 6.1 - Formação de espaço de ar no núcleo de EPS com revestimento integral (esquerda); Formação de espaço de ar no núcleo de EPS com abertura no revestimento (direita) [15]

Contudo, este ensaio, quando comparado com o relatório do incêndio que ocorreu em Winnipeg, não traduz um cenário de incêndio real. O ensaio foi terminado ao fim de 15 minutos, o que não permitiu a formação duma coluna de ar convectiva no espaço de ar criado por trás do revestimento, o que se verificou no incêndio real [15]. Num ensaio futuro, este deve ser estendido até que essa coluna convectiva seja formada.

No entanto, o autor deste estudo concluiu, com base no fenómeno observado no incêndio real, que a espessura de isolamento condiciona a ocorrência do espaço de ar por trás do sistema e cria um potencial calorífico crescente consoante o uso de maiores espessuras de isolamento.

Isto porque cada material de construção tem um poder calorífico específico que se traduz em Megajoules por quilograma de material (MJ/kg); isto quer dizer que, para cada quilo de material, ele vai libertar uma certa quantidade de calor resultante da combustão completa desse material.

Assim, um material, por exemplo o EPS, que tenha uma densidade de 25 kg/m^3 e um poder calorífico de 42 MJ/kg , se tiver uma espessura de $0,04 \text{ m}$ tem uma massa superficial de 1 kg/m^2 , o que perfaz um poder calorífico superficial de 42 MJ/m^2 . Aumentando a espessura do isolamento, por exemplo, para $0,1 \text{ m}$ fica com uma massa superficial de 5 kg/m^2 , o que perfaz

um poder calorífico superficial de 210 MJ/m^2 . Daqui conclui-se que o aumento da espessura de isolamento aumenta o potencial de incêndio.

Logo, quanto maior for a espessura de isolamento, maior é o calor libertado pela superfície do material resultando numa maior decomposição do material e potencialmente uma maior formação do espaço de ar por detrás do revestimento, o que aumenta o risco de propagação do incêndio.

Em suma, na existência dum isolamento térmico combustível contínuo sobre um grande número de andares e com espessuras que ultrapassem os 100 mm de isolamento, há um risco acrescido de propagação de incêndio.

O segundo estudo seguidamente apresentado remonta ao desempenho ao fogo de sistemas de parede com isolamento térmico pelo exterior em edifícios de múltiplos andares. Este estudo foi elaborado no Reino Unido no seguimento do incêndio que ocorreu num edifício multifamiliar na Escócia, no qual houve uma contribuição do revestimento exterior para a propagação e desenvolvimento do incêndio. O estudo foi elaborado pelo Building Research Establishment (BRE) com o intuito de analisar o comportamento ao fogo de sistemas de fachada com isolamento térmico pelo exterior em edifícios de múltiplos pisos [14].

Este estudo pretendia actualizar um estudo realizado previamente e conceber métodos de avaliação do desempenho ao fogo de sistemas de revestimento não convencionais através de ensaios de larga escala.

Seguidamente, descrevem-se sucintamente os ensaios segundo os quais este estudo foi concebido. O ensaio foi realizado num laboratório capaz de sustentar um ensaio de larga escala, segundo a Norma BS 8414-1:2002 *“Test method for non-loadbearing external cladding systems applied to the face of the building”*. Este ensaio consiste na recriação de soluções de fachada aplicadas numa parede de canto resistente de alvenaria com 8 m de altura, 2,6 m de largura para um lado e 1,5 m de largura para outro. A essa parede foram aplicadas soluções de fachada com isolamento térmico pelo exterior, concebidas com todos os elementos relevantes e instalados com as especificações dos fabricantes (figura 6.2). As soluções ensaiadas foram um ETICS e uma fachada ventilada, pelo que, para cada um destes sistemas, foram recriadas duas amostras a ensaiar. Uma sem barreiras corta-fogo entre pisos e uma com barreiras corta-fogo entre pisos.

Foi então criado um cenário de incêndio, através duma caixa de madeira a arder, criando uma produção de calor na ordem dos 4500 MJ num período de 30 minutos.



Figura 6.2 - Exemplo duma instalação típica para ensaios [14]

No seguimento dos ensaios realizados, foram identificadas as consequências possíveis da exposição destes sistemas a um cenário de incêndio.

Começando pelos ensaios às amostras dum sistema de ETICS, verificou-se que a área de revestimento exterior dentro da envolvente das chamas começa a expandir e a destacar-se do isolamento e da estrutura de suporte à medida que é aquecido pelo foco de incêndio.

No seguimento da cedência do revestimento, devida ao calor aplicado ao sistema, verificou-se a tendência para o desenvolvimento de fendas e fissuras à superfície, permitindo que o fogo penetre a camada externa de acabamento e alcance a camada de isolamento. Se a camada de reboco ou a malha de reforço não estiverem adequadamente imobilizados à medida que o sistema expande, as fixações podem soltar-se da camada de isolamento e do elemento de suporte e o sistema pode começar a delaminar e, por perda de aderência, separar-se da parede e cair. A subsequente exposição progressiva de mais quantidades de material isolante pode originar uma propagação crescente do fogo pelo sistema, assim como a queda de elementos ou até mesmo o colapso do sistema.

Todos os materiais dentro da envoltória dum incêndio vão ficar danificados durante o desenvolvimento dum incêndio. Materiais isolantes não combustíveis como produtos à base de fibra de rocha, têm tendência a perder alguma integridade mas o material tipicamente permanece intacto. Os produtos isolantes de combustibilidade limitada, como é o caso de materiais à base de fibra de vidro, apesar de não exibirem uma propagação de chama, quando expostos directamente ao fogo podem degradar-se e, em alguns casos, podem derreter.

Os produtos isolantes como o poliisocianurato (PIR) ou o poliuretano (PUR) são materiais termo rígidos que, quando entram em contacto com a fonte do incêndio, após uma delaminação e fissuração do acabamento externo, vão arder e carbonizar. Os danos no material ficam confinados à área da envoltória das chamas e nas imediações das mesmas. Se forem directamente expostos às chamas, o fogo vai-se propagar pelo sistema, especialmente se não tiverem sido instaladas barreiras corta-fogo (figura 6.3).



Figura 6.3 - Ensaio a sistema ETICS com núcleo dum material termo rígido sem fixações adequadas ou barreiras corta-fogo [14]

Os produtos isolantes como o EPS ou o XPS são materiais termoplásticos que amolecem e derretem numa fase inicial dum incêndio, gerando espaços de ar por detrás do reboco armado.

Sem o suporte da camada de isolamento e caso não tenham sido tomadas medidas de fixação adequadas, a camada de acabamento (reboco armado) vai ceder e fendilhar, criando uma entrada directa para o fogo alcançar o material de isolamento. Depois de inflamado o material isolante, pode-se observar uma rápida propagação do incêndio a todo o sistema, caso não tenham sido instaladas barreiras corta-fogo adequadas ou tomadas as devidas precauções nas fixações.

No caso de termos um EPS, por ser um material com pontos de amolecimento e de fusão relativamente baixos, podem ocorrer danos na camada de isolamento em zonas bastante afastadas do foco das chamas. As seguintes figuras demonstram o resultado de ensaios de amostras em que não se introduziram barreiras (figura 6.4) e outro em foram introduzidas no topo de cada piso (figura 6.5). Note-se que no caso onde foram introduzidas barreiras, a limitação da propagação do fogo foi bastante eficaz.



Figura 6.4 - Sistema ETICS sem barreiras corta-fogo [14]



Figura 6.5 - Sistema ETICS com barreiras corta-fogo [14]

Em ambos os estudos apresentados verificou-se uma degradação acentuada do isolamento térmico quando sujeito às altas temperaturas dum incêndio, algo que é difícil de evitar quando se usam materiais de isolamento combustíveis neste tipo de soluções construtivas.

Seguidamente estão apresentadas considerações relativas ao comportamento de sistemas de *Fachada Ventilada* num cenário de incêndio, baseadas no estudo feito pelo BRE.

Em situação de incêndio, os painéis de revestimento exterior podem ser consumidos quando expostos directamente ao foco de incêndio, expondo a camada de isolamento térmico do sistema ao fogo e permitindo que o fogo alcance a caixa-de-ar. Depois de entrar na caixa-de-ar, pode ocorrer a propagação oculta do incêndio a zonas que não estejam directamente expostas as chamas. Isto pode, geralmente, criar um risco significativo de colapso do sistema ou a transposição do incêndio a grandes distâncias do foco inicial.

Os materiais usados como revestimento exterior deste tipo de soluções variam consoante o seu desempenho ao fogo. Podem ser materiais não combustíveis ou de combustibilidade limitada, geralmente produtos cerâmicos ou de origem natural, como pedra natural ou placas metálicas revestidas. Os painéis cerâmicos ou de pedra têm tendência a ceder e fissurar quando expostos à envolvente do incêndio, criando um acesso por onde as chamas podem alcançar mais facilmente a cavidade do sistema. Caso seja perdida a integridade das fixações à estrutura de suporte, pode ocorrer a queda de painéis. Painéis metálicos também têm tendência a cair, caso a resistência da fixações for afectada pelo incêndio, mas também podem deformar-se de forma significativa e, no limite, derreter, gerando a queda de metal fundido quando expostos directamente à envolvente sustentável das chamas.

No caso de serem painéis combustíveis, tipicamente painéis de vinil ou de fibra de vidro reforçada, existe o risco da rápida propagação através da superfície do material, pelo que estes produtos devem ter boas características de redução da propagação superficial.

Depois de envolvidos no incêndio, os materiais de revestimento exterior podem potencialmente destacar-se do sistema, expondo uma grande área de isolante à acção das chamas, o que potencia a propagação do fogo pela envolvente do edifício.

Sendo uma solução cujo conceito recai na ventilação do espaço de ar existente no sistema, está criada logo de raiz uma via por onde as chamas e os gases quentes podem penetrar no interior do sistema, independentemente do comportamento do revestimento exterior.

As características comportamentais dos materiais isolantes, quando sujeitos à acção das chamas, não diferem muito das já apresentadas anteriormente.

Quanto à estrutura de suporte do revestimento exterior, normalmente são usadas estruturas metálicas em alumínio pois é um material relativamente leve e de fácil manutenção. As temperaturas num cenário de incêndio podem alcançar valores locais na ordem dos 600 °C. Independentemente dos painéis de revestimento exterior, o fogo vai penetrar a cavidade ventilada do sistema e entra em contacto com a estrutura de alumínio, que vai começar a perder resistência local e integridade, à medida que é aquecida. Em situações de incêndio prolongado, esta estrutura metálica vai deformar-se, o que pode provocar um colapso localizado do sistema. No caso de estruturas de madeira, estas vão arder quando em contacto com as chamas, potenciando uma propagação do incêndio. Isto pode gerar um destacamento dos painéis de revestimento exterior ou o colapso do sistema.

7 Regras de boa prática construtiva

Os sistemas de fachada com isolamento térmico pelo exterior identificadas neste trabalho, são soluções construtivas de carácter não tradicional que, do ponto de vista da segurança contra incêndio, podem criar situações problemáticas.

Se, por um lado, existe a crescente necessidade de optimização energética dos edifícios através deste tipo de soluções, por outro, estes sistemas de fachada têm associados riscos de incêndio elevados e devem ser revistos numa apreciação técnica cuidada de modo a que se vejam assim reduzidos, e não potenciados, esses mesmos riscos.

Os dois tipos de sistema em análise neste documento, e caracterizados anteriormente, são o sistema de reboco armado sobre isolamento térmico (ETICS) e o sistema de Fachada Ventilada.

As exigências gerais, em termos de comportamento das fachadas em caso de incêndio, a ter em conta na fase de concepção destes sistemas não convencionais são:

- Os métodos de instalação e fixação empregues devem ser suficientemente robustos para resistir à exposição térmica potencial e à propagação de fogo característica deste tipo de incêndio, sendo importante:
 - Não perderem resistência à medida que o sistema é aquecido;
 - Resistirem às forças geradas pela expansão térmica restringida nas fixações componentes;
 - Resistirem aos movimentos e distorções resultantes da expansão térmica quando esta não é reprimida;
- O acabamento exterior do sistema não deve contribuir para a propagação do incêndio;
- Os sistemas não devem laminar ou fissurar prematuramente, o que proporcionaria uma via potencial para o fogo aceder a cavidades desprotegidas ou materiais combustíveis no interior do sistema.

No sentido de assistir os projectistas no tratamento de questões relacionadas com o comportamento ao fogo deste tipo de fachadas, e com base na observação dos resultados de estudos elaborados no estrangeiro, foi possível organizar e desenvolver um conjunto de princípios a aplicar em fase de projecto baseados na análise destes sistemas e na pesquisa de ensaios de larga escala.

Estes princípios representam um número de elementos chave que pretendem ser a base das regras de boa prática construtiva para este tipo de soluções que possam reflectir mudanças nos tipos de produtos e sistemas que são actualmente usados. O intuito destes princípios não é o de criar especificações de aplicação, algo que fica a cargo dos fornecedores destes sistemas e/ou de entidades oficiais competentes (como o LNEC), mas sim complementar essa informação técnica, com exigências a impor na aplicação desses sistemas, de modo a garantir a estabilidade dos sistemas, minimizando os riscos de incêndio.

Pretende-se assim com a criação destes princípios, complementar a informação fornecida pelo Regulamento de Técnico de Segurança Contra Incêndio em Edifícios, cujas exigências em vigor não contemplam todos os riscos associados a estes tipos de soluções de fachada. Esta informação complementar será uma mais-valia pois trata de pontos singulares para a generalidade dos casos e pode servir para que sejam criados estudos futuros quanto à viabilidade destes sistemas não convencionais.

Numa primeira análise, tem todo o interesse identificar as exigências impostas pelo Regulamento de Técnico de Segurança Contra Incêndios em Edifícios (RTSCIE) para elaboração destas soluções no sentido de perceber que informação existe e que informação deve ser melhorada ou adicionada.

Assim o RTSCIE estipula exigências para estes tipos de sistemas em termos de reacção ao fogo dos seus constituintes, apresentados seguidamente:

Quadro 7.1 - Reacção ao fogo de elementos de revestimento exterior criando caixa-de-ar

Elemento	Edifícios de pequena altura	Edifícios de média altura	Edifícios com altura superior a 28m
Estrutura de suporte do sistema de isolamento	C-s2 d0	B-s2 d0	A2-s2 d0
Revestimento da superfície externa e das que confinam o espaço de ar ventilado	C-s2 d0	B-s2 d0	A2-s2 d0
Isolante térmico	D-s3 d0	B-s2 d0	A2-s2 d0

Quadro 7.2 - Reacção ao fogo dos sistemas compósitos para isolamento térmico exterior com revestimento sobre isolante (ETICS) e o material isolante térmico

Elementos	Edifícios de pequena altura	Edifícios de média altura	Edifícios com altura superior a 28m
Sistema completo	C-s3 d0	B-s3 d0	B-s2 d0
Isolante térmico	E-d2	E-d2	B-s2 d0

Como se verifica, estas exigências impostas pelo Regulamento tratam unicamente das questões relacionadas com a reacção ao fogo dos elementos constituintes destes sistemas. Por outro lado, é possível observar como prática comum uma realidade construtiva que não respeita integralmente este conjunto de requisitos. Tomamos a título de exemplo o caso duma fachada ventilada em que se usou como isolamento térmico a espuma de poliuretano projectado (PUR), situação bastante usual em Portugal. O uso deste material como isolante térmico dos edifícios pelo exterior, não considerando questões relacionadas com o seu comportamento ao fogo, seria aparentemente uma solução eficaz. De facto, é um material com um excelente comportamento térmico (com valores de coeficiente de transmissão térmica dos mais baixos no mercado) e, podendo ser aplicado por projecção, contribui para a continuidade da camada de isolamento, especialmente na correcção das pontes térmicas planas do edifício. É um material que é mais viável economicamente quando comparado com a lã mineral, isto porque os custos de produção não diferem muito entre si mas os custos de aplicação são mais elevados no caso das lãs minerais.

No entanto, este material termo rígido dificilmente tem uma classe de reacção ao fogo melhor que um E. Denote-se que a exigência para um edifício de pequena altura para o isolante é da classe D, pelo que se conclui que, segundo o Regulamento, não é possível a utilização do PUR numa caixa-de-ar duma fachada ventilada. Isto para não falar de edifícios de média e grande altura em que a exigência é ainda mais acentuada. Assim, deveria haver uma maior limitação, por parte dos projectistas e dos donos de obras, no uso de materiais combustíveis em função da altura do edifício e principalmente em situações em que inevitavelmente vai ocorrer exposição ao fogo, como é caso do espaço de ar dum sistema de fachada ventilada. Esta limitação é imposta pelo Regulamento; no entanto não é aplicada na realidade, principalmente devido à falta de fiscalização na concepção destes tipos de sistemas.

Nos países do Norte da Europa, como é o caso do Reino Unido ou da Finlândia, a regulamentação é mais simplista no que toca a estas permissividades. Nestes países, está regulamentado que não se pode isolar os edifícios exteriormente com materiais combustíveis; será provavelmente por esta razão que é usada com mais frequência a lã de rocha mineral para este tipo de soluções.

Outros aspectos não contemplados no Regulamento dizem respeito à limitação do uso duma maior espessura de material isolante térmico combustível, da limitação da propagação vertical e horizontal do incêndio em cavidades ou da natureza das fixações. No panorama nacional, este tipo de questões, relacionadas com a influência destes sistemas num cenário de incêndio, ainda não foi sujeito a uma apreciação técnica detalhada por parte dos órgãos competentes.

No sentido de prevenir a rápida e extensiva propagação do incêndio e o colapso do sistema, os seguintes princípios devem ser considerados na elaboração soluções de isolamento térmico pelo exterior.

7.1 Considerações para elaboração de sistemas de ETICS:

A espessura de isolante térmico deve ser limitada a valores que não excedam os 100 mm no caso de ser um material combustível.

Deve ser considerada a estabilidade e continuidade do revestimento exterior, de modo a evitar uma excessiva delaminação do sistema, o que pode gerar espaços vazios por onde o fogo se pode propagar.

Este revestimento deve ser instalado através de fixações adequadas que garantam que o sistema não sofra um colapso desproporcionado durante o incêndio.

Estes sistemas devem ser fixos à estrutura de suporte usando uma combinação de fixações mecânicas (plásticas ou metálicas) e colagem.

Não é aconselhada a fixação unicamente por colagem, pois cada vez mais são usadas maiores espessuras de isolamento, logo em camadas mais pesadas, o que em caso de incêndio pode criar uma instabilidade no sistema pois não existe uma ligação mecânica entre a camada de acabamento e a parede portante. Caso a camada de isolamento seja consumida no incêndio, a fixação por colagem do sistema é também consumida, permitindo que o reboco armado se mova independentemente da parede, o que pode potenciar a delaminação do sistema. Assim, um sistema de fixação por colagem deve ser complementado por um sistema de fixação mecânica, que vai fornecer estabilidade ao sistema.

As fixações mecânicas que tanto podem ser metálicas, de plástico ou uma combinação das duas, têm de ter a resistência mecânica para suportar o sistema em condições de utilização e devem ser capazes de reter o sistema em caso de incêndio e auxiliar na prevenção duma excessiva propagação do incêndio.

Estas fixações têm de ser fixas através da malha, que deve ser reforçada nestas zonas de fixação para que não ocorra um rompimento da mesma devido às acções mecânicas, atravessando o isolamento térmico e fixando-se ao suporte.

Se um fogo penetrar numa cavidade, quer tenha sido criada devido ao fogo ou quer faça parte do projecto, e o material de isolamento for directamente exposto às chamas, qualquer material combustível presente pode ser envolvido no incêndio, existindo um grande potencial deste se propagar a todo o sistema.

Os ensaios experimentais de larga escala demonstraram que, no sentido de satisfazer os critérios de desempenho para sistemas ETICS, qualquer fogo que possa propagar-se pelo sistema deve ser contido ao nível do piso imediatamente acima do foco de incêndio. Assim, devem ser aplicadas barreiras corta-fogo em cada piso acima do primeiro piso (a começar no segundo piso), de modo a prevenir a formação de colunas de ar, em toda a extensão da fachada, devidas à degradação do isolamento.

Tipicamente as barreiras devem ser construídas de material isolante não combustível e devem cobrir a profundidade total de isolamento usado no sistema.

Para a elaboração de barreiras corta-fogo em sistemas de ETICS deve-se ter em conta as seguintes considerações:

- As barreiras corta-fogo devem ter no mínimo 100 mm de altura.
- As barreiras corta-fogo devem formar uma banda completa em toda a extensão de isolamento em cada piso de modo a evitar a formação de cavidades por onde o fogo se possa propagar.
- O material não combustível deve estar bem aderido e agarrado, tanto à parede de suporte, como ao reboco armado, para garantir que não surgem vias por onde o fogo possa passar por entre esses dois elementos.
- Devem ser garantidas umas fixações metálicas que liguem a barreira, tanto à parede de suporte, como ao reboco armado, para garantir que não há movimento entre os três elementos. É crucial que não haja um potencial de fogo entre a barreira e o reboco.

As barreiras corta-fogo também devem ser aplicadas em áreas vulneráveis como aberturas de janelas ou de portas de modo a prevenir uma potencial exposição dos elementos do sistema a um incêndio. Em fachadas com grandes desenvolvimentos lineares, devem ser aplicadas barreiras corta-fogo verticais de modo a prevenir a propagação lateral do incêndio.

Na figura 7.1 (pag. 84) está representada uma configuração genérica para um sistema de ETICS com pormenor das barreiras corta-fogo e respectivas fixações.

Em suma, com a introdução de barreiras corta-fogo com as características anteriormente apresentadas e das fixações mecânicas do sistema melhoradas, bem como a limitação da espessura do isolamento térmico a valores não superiores a 100 mm, associadas às exigências regulamentares de reacção ao fogo dos constituintes do sistema, estão assim garantidas as questões de segurança contra incêndios que permitem uma redução dos riscos de propagação na ocorrência dum sinistro de incêndio.

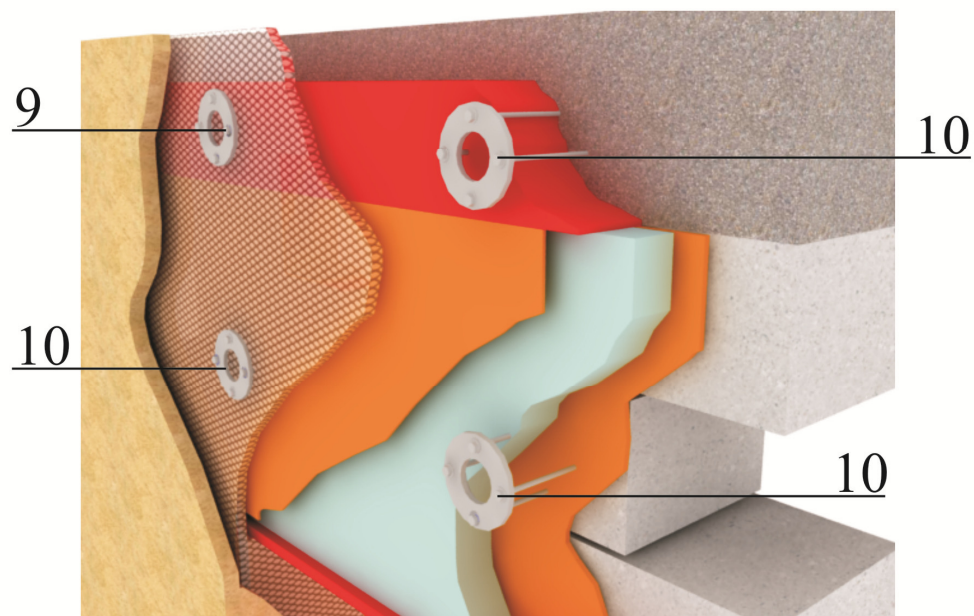
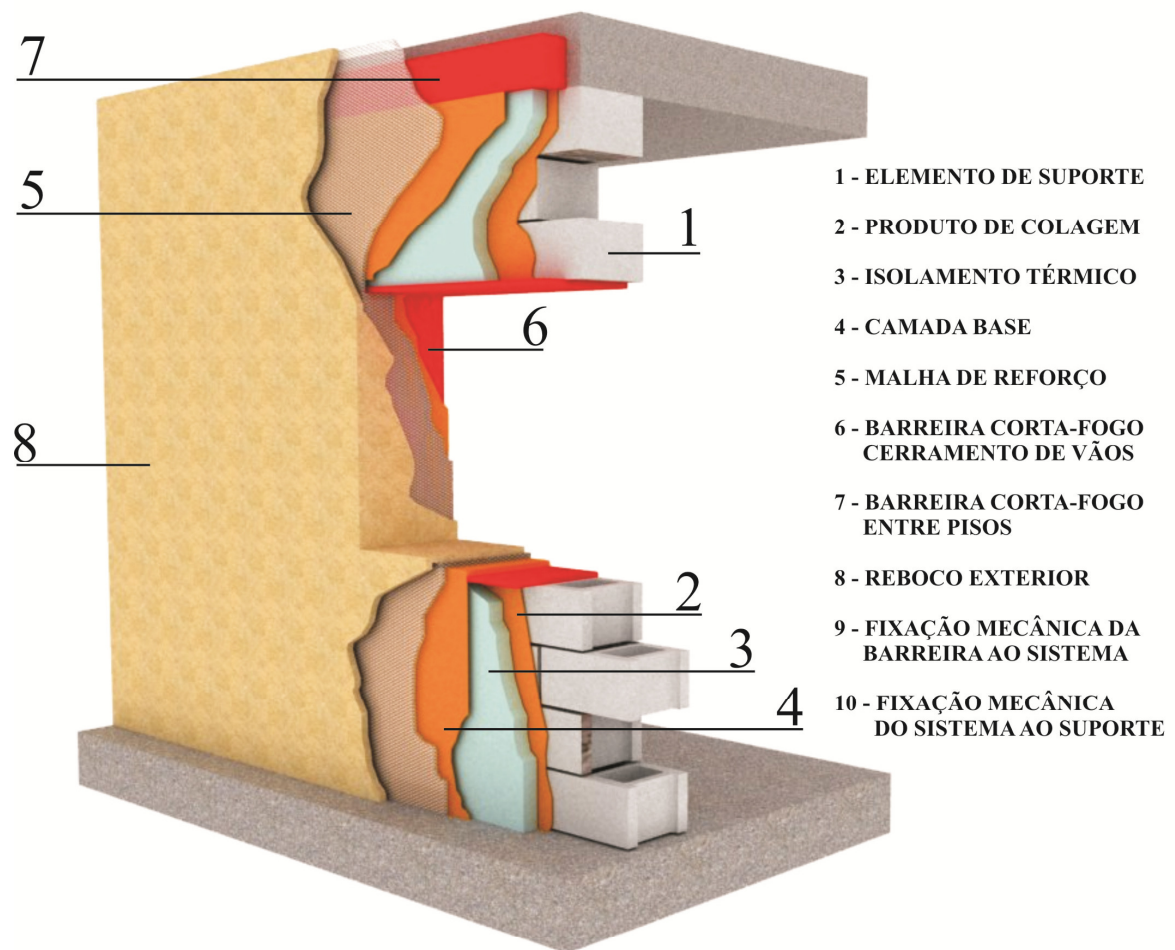


Figura 7.1 - Pormenor sistema ETICS

7.2 Considerações para sistemas de *Fachadas Ventiladas*:

Na elaboração deste tipo de soluções, deve-se proceder a uma escolha cuidada dos materiais de modo a evitar que se apliquem em simultâneo materiais de revestimento exterior combustíveis, estruturas de suporte com um mau comportamento em caso de incêndio e materiais isolantes facilmente inflamáveis, o que criaria um potencial de incêndio extremamente elevado. Deve então haver um equilíbrio entre os vários componentes do sistema.

Além do mais, visto que neste tipo de soluções é impossível prevenir que as chamas e gases quentes inflamáveis, provenientes do incêndio, penetrem a cavidade do sistema e se propaguem ao material isolante, não devem ser usados de materiais isolantes combustíveis, especialmente em edifícios de média e grande altura onde a intervenção dos bombeiros é bastante limitada.

Um outro princípio que deve ser aplicado neste tipo de soluções é a instalação de barreiras corta-fogo na cavidade destes sistemas, de modo a prevenir que ocorra uma propagação excessiva do fogo pelo espaço de ar e a qualquer material combustível que possa existir no sistema, mas mantendo a ventilação natural da cavidade em circunstâncias normais.

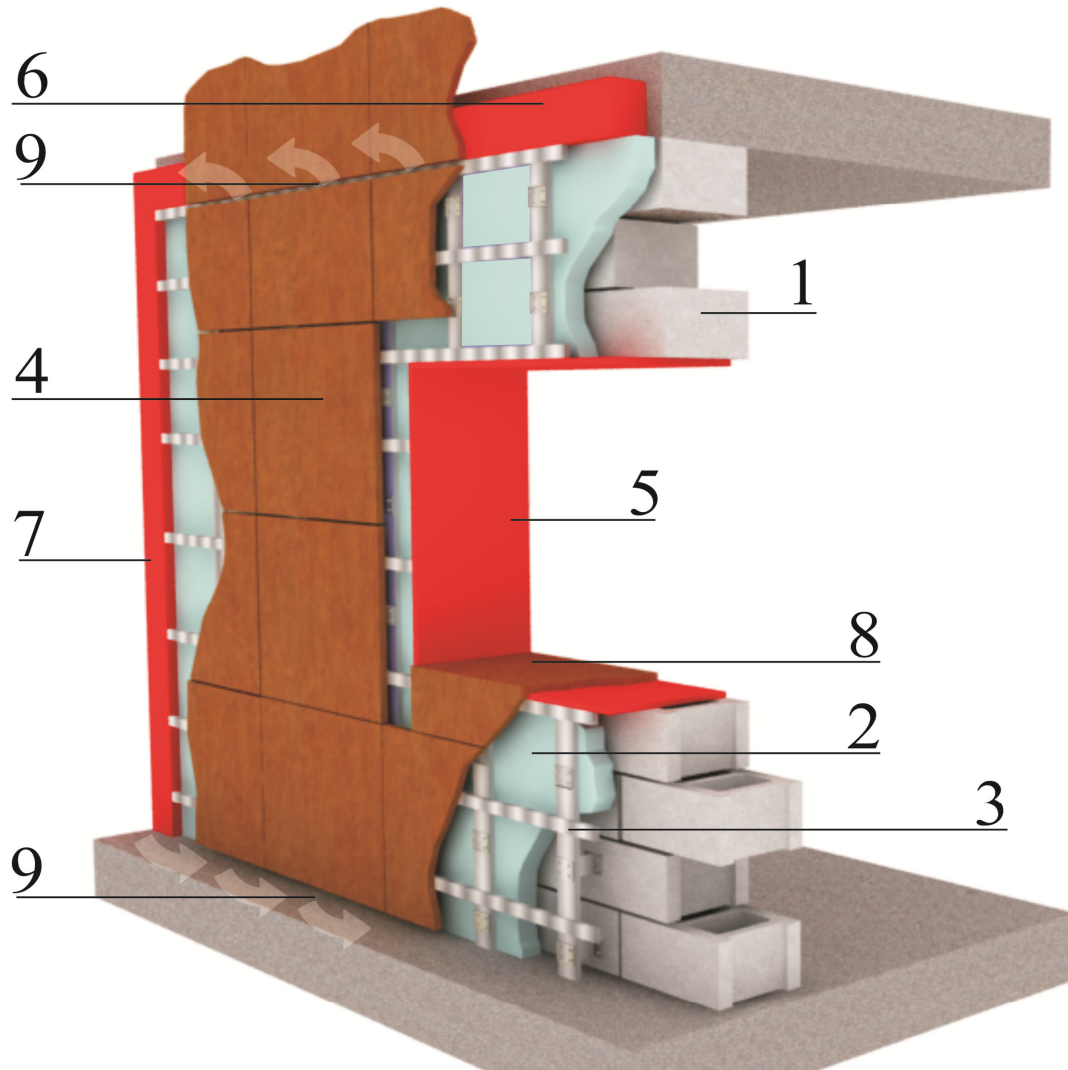
As barreiras corta-fogo têm de ser constituídas por materiais incombustíveis, devem ter no mínimo 100 mm de altura e devem ser colocadas entre todos os pisos.

Seguidamente são propostas um conjunto de medidas a aplicar na execução de barreiras corta-fogo:

- Barreiras fixas à parede resistente de suporte;
- Barreiras montadas independentemente da estrutura de suporte do revestimento;
- Barreiras em toda a extensão da cavidade e em alguns casos saliente na face externa da parede, o que permite o movimento dos painéis de revestimento.

As barreiras corta-fogo também devem ser aplicadas em áreas vulneráveis, como aberturas de janelas ou de portas, de modo a prevenir uma potencial exposição dos elementos do sistema a um incêndio. Também devem ser aplicadas barreiras na vertical, com espaçamento adequado, ao longo do desenvolvimento linear da fachada, de modo a prevenir a propagação lateral do incêndio. A natureza destas barreiras está dependente da natureza dos revestimentos, pelo que a sua projecção e aplicação tem de ter em consideração o sistema em causa. Não se pode generalizar em termos de especificações das barreiras pois o que pode ser uma boa solução num caso pode não o ser noutro. Mais estudos devem ser feitos para criar informação

adicional a ter em conta em fase de projecto. Na figura 7.2 está representada uma configuração genérica para um sistema de Fachada Ventilada com pormenor das barreiras corta-fogo e respectivas fixações.



- | | |
|--|-------------------------------------|
| 1 - ELEMENTO DE SUPORTE | 6 - BARREIRA CORTA-FOGO ENTRE PISOS |
| 2 - ISOLAMENTO TÉRMICO | 7 - BARREIRA CORTA-FOGO VERTICAL |
| 3 - ESTRUTURA DE SUPORTE DO REVESTIMENTO | 8 - REMATE DE VÃO DE ABERTURA |
| 4 - REVESTIMENTO EXTERIOR | 9 - ABERTURA VENTILAÇÃO |
| 5 - BARREIRA CORTA-FOGO CERRAMENTO DE VÃOS | |

Figura 7.2 - Pormenor sistema Fachada Ventilada

Em suma, no sentido de atenuar a rápida propagação do incêndio e potencial colapso em fachadas ventiladas, a selecção de materiais a usar na construção destes sistemas deve ser feita considerando as questões de exposição dos materiais ao fogo, os sistemas de fixação, bem como os pormenores em zonas de remate devem ser elaboradas com rigor e devem ser exigidos o provisionamento de barreiras corta-fogo entre pisos e nos vãos das aberturas.

Assim, com a introdução das barreiras corta-fogo e das fixações mecânicas apropriadas, se forem cumpridas as exigências regulamentares de reacção ao fogo dos constituintes do sistema, nomeadamente o uso de materiais de isolamento térmico não combustíveis, estão assim garantidas as questões de segurança contra incêndios em edifícios que permitem uma redução dos riscos de propagação na ocorrência dum sinistro de incêndio.

Sugestões de trabalhos futuros e conclusões gerais

Sugestões de trabalhos futuros

O trabalho desenvolvido, tal como já referido, foi baseado na análise de casos de estudo e em campanhas laboratoriais, referidas na bibliografia, que se destinaram a melhor compreender qual a influência dos diversos componentes dos sistemas em caso de incêndio real. As recomendações elaboradas neste trabalho pressupõem uma análise mais detalhada de alguns aspectos específicos. Será posteriormente possível a elaboração de apreciações técnicas, por parte das entidades oficiais, como o LNEC, que contribuam para a progressiva melhoria dos sistemas existentes e, assim, para uma melhor segurança contra incêndio em sistemas de fachada não tradicionais.

Como sugestões de trabalhos futuros, destacam-se os aspectos seguintes:

- Definição, caracterização e elaboração de disposições construtivas para os dispositivos que se destinem a constituir as barreiras corta fogo. Há que aprofundar quais os materiais mais adequados para cada situação, de que forma são aplicados e como se relaciona a sua construção com os demais elementos do sistema; neste contexto, as zonas de remate entre vãos envidraçados e o sistema de fachada deve ser também analisado;
- Desenvolvimento de sistemas de fixação do revestimento, sobretudo em fachadas ventiladas, que garantam um comportamento totalmente satisfatório no que diz respeito às acções térmicas e à forma como permitam manter, por tempo útil, a integridade da camada de isolamento;
- Considerando que os materiais isolantes incombustíveis apresentam, geralmente, um comportamento à acção da água pouco satisfatório, há que desenvolver também disposições construtivas que permitam a sua utilização resolvendo as questões práticas relacionadas com a inevitável presença de humidade.

Conclusões gerais

O trabalho desenvolvido insere-se no domínio do comportamento de sistemas de fachada com isolamento térmico pelo exterior, soluções usadas como medida de optimização energética de edifícios, mais especificamente o comportamento em caso de incêndio.

Neste trabalho pretendeu-se analisar a contribuição, em caso de incêndio, de sistemas de fachada não convencionais, nomeadamente o sistema de reboco armado sobre isolamento térmico (ETICS) e o sistema de Fachada Ventilada.

Primeiramente foi feita uma pesquisa para um melhor entendimento da temática envolvente, adquirindo conhecimento sobre o fenómeno do fogo, dos tipos e processos de combustão bem como os processos de propagação de calor.

Procedeu-se a análise do comportamento do fogo em edifícios, começando por condições de eclosão, passando pela caracterização das várias fases dum incêndio, por noções de carga de incêndio e protecção passiva através da compartimentação dos espaços, bem como processos de propagação do incêndio, tanto no interior como na envolvente dos edifícios.

Foi possível perceber que, numa situação de incêndio, a contribuição dos materiais constituintes das edificações é um factor determinante no desenvolvimento e propagação dum incêndio, pelo que se analisou a classificação do comportamento ao fogo dos elementos e produtos de construção para um posterior entendimento dos riscos de incêndio associados ao uso de certos tipos de materiais e sistemas construtivos.

Contextualizou-se o uso deste tipo de sistemas de fachada em Portugal pois são soluções que têm tido uma procura crescente, quer em construção nova, quer em reabilitação de edifícios, devido às suas características conhecidas de atenuação dos ganhos/perdas de energia pela envolvente dos edifícios.

De seguida procedeu-se à caracterização dos sistemas de ETICS e Fachada Ventilada para um melhor entendimento da solução construtiva e caracterizou-se também genericamente os materiais de isolamento térmico e de revestimento exterior para estes tipos de soluções, segundo o seu desempenho ao fogo, tendo sido identificada, para cada tipo de material, a classe de reacção ao fogo correspondente.

Foram então identificados os riscos de propagação de incêndio em fachadas, onde se concluiu que existem dois mecanismos possíveis. Num primeiro mecanismo, a propagação do incêndio dá-se sem a contribuição do sistema de fachada. Este mecanismo geralmente ocorre em

sistemas de fachada tradicionais com a propagação do incêndio a dar-se directamente pelas aberturas adjacentes. Num segundo mecanismo, a propagação do incêndio dá-se com a contribuição do sistema de fachada. Este segundo mecanismo está directamente associado aos dois tipos de fachadas em análise no trabalho. Isto deve-se ao facto de tanto o sistema de ETICS, como o sistema de Fachada Ventilada, na sua maioria, eram constituídos por materiais não tradicionais e de natureza combustível, os quais criam um risco acrescido de propagação na ocorrência dum incêndio.

Foi apresentado um conjunto de casos de incêndio que ocorreram em edifícios, em que foi possível concluir que a contribuição do sistema de fachada foi preponderante na propagação das chamas. Nestes casos de Sistemas de ETICS e de sistemas de Fachada Ventilada, ocorreu um incêndio localizado, o qual se propagou a todo o sistema devido a um conjunto de diversos factores: utilização de isolamentos térmicos com um mau desempenho de reacção ao fogo, combinação de elementos constituintes (revestimento exterior e a respectiva estrutura de suporte) com natureza combustível, utilização de espessuras de isolamento térmico superiores à prática corrente e, finalmente, inexistência de medidas de segurança que atenuassem essa propagação.

No seguimento da ocorrência destes incêndios, foram realizadas campanhas de ensaio de caracterização do comportamento ao fogo em laboratórios especializados, constituindo-se como casos de estudo no sentido de perceber qual a verdadeira contribuição destes sistemas de fachada num cenário de incêndio real. Estes ensaios e os seus resultados foram compilados neste trabalho. Através de ensaios de larga escala, foram ensaiadas amostras de sistemas de ETICS com diferentes espessuras de EPS, por ser o isolante mais correntemente usado neste tipo de solução. Conclui-se que uma maior espessura deste isolamento resultaria numa maior área de material degradado pelo fogo, pelo que conduziria ao aparecimento dum maior espaço de ar por detrás do sistema, aumentando assim o risco de propagação generalizada. De acordo com os resultados obtidos, pode afirmar-se que a espessura de isolamento neste tipo de solução deve ser limitada a valores não superiores a 100 mm. Outro aspecto retractado é a limitação da exposição directa destes materiais à chama, pelo que se conclui que uma exposição directa resultaria numa degradação bem mais acentuada e generalizada, em relação a uma degradação do material que ocorreria por condução de calor.

Noutro estudo apresentado, foram testados os dois tipos de solução, ETICS e Fachada Ventilada, numa amostra que pretendia representar três pisos dum edifício. Em ambos os sistemas foram ensaiadas duas amostras: uma onde se recriou um sistema contínuo e outra

onde foram introduzidas barreiras corta-fogo entre pisos. Os resultados mostraram em ambos os casos uma degradação acentuada do material isolante combustível. Nas amostras onde não foram introduzidas as barreiras, o fogo propagou-se a todo o sistema, ao passo que nas amostras onde havia as barreiras a propagação foi limitada ao piso envolvido no foco de incêndio.

Outra conclusão retirada deste estudo remete ao facto de, em sistemas de fachada ventilada, não ser possível prevenir que as chamas e gases quentes provenientes da combustão atinjam a camada de isolamento térmico, pois o princípio deste tipo de solução é a ventilação natural do espaço de ar do sistema. Neste sentido, a nível regulamentar em Portugal e, sobretudo, noutros países europeus, o uso de matérias combustíveis em sistemas de fachada ventilada não é permitido.

Com base na análise dos casos de estudo referidos, foi elaborado, neste trabalho, um conjunto de recomendações relativas a disposições construtivas que se consideram determinantes na obtenção de um melhor comportamento ao fogo de sistemas de fachada do tipo ETICS e Fachada Ventilada. Note-se que, em Portugal, os requisitos exigidos pela regulamentação existente estão essencialmente relacionados com a classe de reacção ao fogo dos materiais utilizados. No entanto, e como fica bem demonstrado nos casos de estudo analisados, este é apenas um dos aspectos a ter em atenção para uma correcta especificação destes sistemas no âmbito da segurança contra incêndio.

A prática corrente da construção em Portugal, como pode ser facilmente confirmado por simples observação visual de obras em curso, não considera aquilo que hoje se pode considerar como cuidados construtivos básicos. Apesar de, como já referido, a regulamentação ser pouco exigente no que a este tipo de sistemas diz respeito, não se crê que seja sempre cumprida. Note-se como, em fachadas ventiladas, a aplicação de poliuretano projectado é, cada vez mais, frequente, embora não cumpra os requisitos de classe de reacção ao fogo definidos regulamentarmente. O regulamento exige uma classe de reacção ao fogo para isolamentos térmicos em fachadas ventilada não pior que um D para edifícios de pequena altura. O poliuretano tem uma classificação de E. O uso deste material deve-se a questões do foro económico/prático. A verdade é que é um material com excelentes características térmicas, relativamente barato e duma aplicação prática com resultados bastante satisfatórias ao nível da continuidade que se consegue obter da camada de isolamento, sendo ao nível da correcção das pontes térmicas a solução que melhor parece resolver as questões que se colocam. Na perspectiva da segurança contra incêndio, este tipo de material, aplicado numa

caixa-de-ar duma fachada ventilada, cria um potencial de incêndio extremamente elevado, pois no caso de entrar em contacto directo com as chamas, vai arder com rapidez, potenciando a propagação do incêndio a todo o sistema, havendo um risco acrescido de colapso do mesmo.

A redução dos riscos para este tipo de solução passa pelo uso de materiais de isolamento não combustíveis, pela introdução de barreiras corta-fogo entre pisos e em vãos de aberturas, com especial atenção nas zonas de remate, e na escolha adequada do conjunto constituído pelo isolamento, estrutura de suporte e revestimento exterior, em função da potencial exposição do material ao fogo, de modo atenuar a rápida propagação do incêndio e o potencial colapso.

No sistema ETICS o material de isolamento térmico usado correntemente é o EPS pois é um material relativamente barato, com excelentes características térmicas, com uma razoável resistência mecânica e de fácil aplicação, o que faz com que seja muitas vezes a primeira escolha para este tipo de solução. A melhoria em questões de segurança para este tipo de solução passa pela elaboração cuidada do sistema, com especial atenção a pontos singulares como os remates dos vãos das aberturas, pela introdução de barreiras corta-fogo nos vãos das aberturas e entre pisos em toda a espessura de isolamento, na limitação da espessura de isolamento e na introdução de fixações mecânicas a todo o sistema de modo a evitar uma potencial laminação das várias camadas, em caso de incêndio.

Em suma, a aplicação destes princípios associados ao cumprimento das exigências regulamentares, podem reduzir os riscos da potencial contribuição destes sistemas numa eventual situação de incêndio.

Bibliografia

- [1] COELHO, A. L.- *Segurança contra incêndio em edifícios de habitação*. Orion, 1998.
- [2] VENTURA, J.; NEVES, I. - *Curso de especialização em segurança contra incêndios*. IST, 2000.
- [3] READ, REH.; MORRIS, W.A.- *Aspects of fire precautions in buildings*. BRE 1993.
- [4] JACKSON L. - *Guide of building fire protection* – FPA, 1997.
- [5] VASSART, O.; CAJOT, L.G.; BRASSEUR, M. - *Acções Térmicas e Mecânicas*. Comunicado no seminário sobre aplicação da engenharia de segurança contra incêndios no projecto de edifícios – LNEC, Lisboa 5 de Dezembro de 2008.
- [6] COSTA, E. C. - *Física Aplicada à construção, Conforto Térmico*. Edgard Blücher, 1991.
- [7] HENRIQUES, Francisco. - *Reabilitação térmica de edifícios*. Alambi, Agosto de 2007.
- [8] AAVV- *Construção Magazine nº27* Setembro/Outubro 2008.
- [9] SANTOS, C. PINA - *Evolução das Soluções de Paredes Face a Novas Exigências Regulamentares* – LNEC, Lisboa 2007.
- [10] IPQ - *Fire classification of construction products and building elements - Part 1: Classification using test data from reaction to fire tests* EN 13501-1:2002.
- [11] IPQ - *Fire classification of construction products and building elements - Part 2: Classification using data from fire resistance tests, excluding ventilation services* EN 13501-2:2003.
- [12] O. YUNG, O.; OLESZKIEWICZ, I. - *Fire Spread Via Exterior Walls of Buildings*. National Research Council Canada, Institute for Research in Construction, 1988.
- [13] WADE, C.A.; CLAMPETT, J. - *Fire Performance of External Claddings*, Review. BRANZ Study Report, New Zealand, 1999.
- [14] COLWELL, S.; MARTIN, B. - *Fire performance of external thermal insulation for walls of multi-storey buildings*. BRE-FRS 2003.
- [15] NELSON, P.E.; KROLL, R.E. - *Exterior insulation finish systems (EIFS)*, American Society for Testing and Materials ASTM, 1996.
- [16] FREITAS, V.P. – *Isolamento térmico de fachadas pelo exterior*, MAXIT – Tecnologias de construção e renovação, Lda., Dezembro de 2002.
- [17] DECRETO-LEI N.º 220/2008 – *Regime Jurídico de Segurança Contra Incêndios em Edifícios*.
- [19] PORTARIA Nº 1532/2008 – *Regulamento Técnico de Segurança Contra Incêndio em Edifícios*.

- [20] IPQ - *Fire-resistance tests (ISO 834). - Elements of building construction* EN 1363- 1.
- [21] SANTOS, C. A. Pina dos; MATIAS, Luís – *Coeficientes de transmissão térmica de elementos da envolvente dos edifícios. Lisboa: LNEC, 1990. Informação Técnica de Edifícios* ITE 50.
- [22] JORNAL O PUBLICO - http://www.publico.clx.pt/Local/incendio-em-gaia-obrigou-ao-realojamento-de-uma-familia-mas-nao-provocou-vitimas_1324967.